UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

BRUNO ALBERTO BRUNETTO

COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS INTERDISCIPLINARES ATRAVÉS DO ESQUEMA IFC: PROCESSO COLABORATIVO

Palhoça

2020

BRUNO ALBERTO BRUNETTO

COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS INTERDISCIPLINARES ATRAVÉS DO ESQUEMA IFC: PROCESSO COLABORATIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Eng. Civil Ricardo Moacyr Mafra, MSc.

Palhoça

2020

Dedico este trabalho a todos que de forma voluntária ou involuntariamente participaram e contribuíram para sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar estes agradecimentos primeiramente aos meus pais que sempre buscaram me educar da melhor forma possivel, constantemente me incentivando e apoiando aos estudos, sendo que hoje tenho meu caráter formado muito devido aos cuidados deles, desta forma meu muito obrigado.

Também gostaria de agradecer de uma forma muito especial minha esposa Fernanda e nossos filhos Mateus, Maria e Lucas por sempre terem compreendido e auxiliado nesta jornada ao conhecimento, que demandou horas de ausência como marido e pai em nosso meio familiar, também agradeço aos diversos momentos de conversa e descontração que minha esposa me proporcionou fazendo de mim uma pessoa mais ciente dos deveres e obrigações como cidadão vivendo no coletivo e aos nossos filhos por vivenciarem esta trajetória e aprenderem que o conhecimento demanda esforço, tempo e perseverança.

Aos mestres que dedicaram seu tempo e a árdua porem nobre função de compartilhar o conhecimento, demonstrando que sem este papel estaríamos fadados ao obscurantismo da falta de conhecimento.

A instituição Unisul e todo seu corpo de funcionários que sempre estiveram me auxiliando quando houve necessidade. Aos colegas que tive o prazer de partilhar expectativas e experiencias durante esta jornada.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos os que estiveram presente e de certa forma participaram, mesmo que inconscientemente participando de minha formação, meu muito obrigado.

RESUMO

A incessante busca por melhores resultados dentro da cadeia da construção civil, resultaram na inovação e tecnologia advinda da modelagem da informação da construção (BIM), expondo a todos os envolvidos nesta indústria, novos paradigmas e perspectivas em um mundo cada vez mais globalizado e tecnológico, impactando diretamente no estabelecimento de novos processos e fluxos de trabalho para o desenvolvimento de projetos entre equipes interdisciplinares. Esta transformação que a indústria vem se adaptando, trouxe também novos panoramas para o desenvolvimento de projetos e colaboração entre os agentes envolvidos, portanto a forma existente anteriormente já não atende com tanta eficiência como os novos modelos de dados tridimensionais desenvolvidos através de diversas e distintas ferramentas especialistas, preconizados pelo BIM. Modelos centralizados repletos de informação e tecnologias embarcadas visam uma perfeita sinergia entre agentes envolvidos no processo e sem este envolvimento colaborativo entre todos, dificilmente o desenvolvimento de um projeto pode perdurar durante todo o ciclo de vida da edificação. É a partir desta sinergia envolvendo uma grande cadeia de usuários, que se torna de vital importância um padrão de comunicação único em formato público e aberto, mundialmente reconhecido a ser adotado como ferramenta da gestão de comunicação. Apoiado pela adoção do padrão Industry Foundation Classes (IFC), que novos processos e fluxos de trabalho são evidenciados e frequentemente testados buscando uma perfeita e completa colaboração envolvendo a troca de dados entre os diversos modelos interdisciplinares desenvolvidos durante todo o ciclo do uso da edificação. Ao iniciar pelo uso 3D do modelo de dados da construção, avançando aos modelos 4D, 5D, 6D e 7D a troca de informações é um processo constante que requer total eficiência evitando assim que erros sejam perpetuados a cada nova troca de informação. Desta forma este trabalho visa analisar através do uso da metodologia BIM , suas ferramentas e processos, a qualidade e eficiência relacionado ao padrão IFC durante os processos de comunicação e troca de dados dos modelos desenvolvidos, demonstrando desde a conceituação do modelo e seu desenvolvimento em softwares de modelagem distintos, assim como extração de quantitativos do elementos modelados, avançando para a federação dos arquivos, de forma a compatibiliza-los e quantificar seus elementos importados a partir de outra ferramenta BIM.

Palavras-chave: IFC. BIM. Modelagem. Interoperabilidade. Compatibilização. Extração de quantitativos. Interdisciplinar.

ABSTRACT

The ceaseless quest for better results within the civil construction chain, resulted in innovation and technology arising from building information modeling (BIM), exposing everyone involved in this industry to new paradigms and perspectives in an increasingly globalized and technological world, directly impacting the establishment of new processes and workflows for the development of projects between interdisciplinary teams. This transformation that industry has been adapting, it also brought us new ways of project development and collaboration between all agents involved, therefore ways does not serve as efficiently as the new three-dimensional data models developed through diverse and distinct specialist tools, as recommended by BIM. Centralized data models full of information and embedded technology aim a perfect synergy between stakeholders involved in the process and without this collaborative involvement among all, a project development difficultly could resist during all the building life cycle. It is from that synergy involving a huge chain of users, that a unique, open format, worldwide recognized and public communication standard becomes vitally important to be adopted as a communication management tool. It is from adoption of industry foundation classes (IFC) standard, that new process and workflows are evidenced and frequently tested searching a perfect and complete collaboration involving a data exchange between diverse interdisciplinary models developed and managed during all the building life cycle. Beginning by the use of 3D building data models, moving forward to 4D, 5D, 6D and 7D models, information exchange it is a constant process that requires total efficiency, thus preventing errors from being perpetuated each new exchange of information. By the way, this work aims to analyze through the use of the BIM methodology, tools and process, the quality and efficiency related to IFC standard during communication process and data exchange of developed models, demonstrating from the conceptualization of the model and its subsequent modeling in distinct modeling software, as the modeled elements takeoff , moving forward to models federation, in order to make them compatible quantifying its imported elements from another tool.

Keywords: IFC. BIM. Modeling. Interoperability. Compatibilization. Quantitative takeoff. Interdisciplinary.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do trabalho 25
Figura 2 - Fluxo de trabalho do processo de projeto 34
Figura 3 - Fases projeto NBR 16363-2 36
Figura 4 - Elaboração de representação gráfica manual de projeto 40
Figura 5 - Fluxo de operação projeto BIM 45
Figura 6 - Modelo centralizado BIM 46
Figura 7 - Níveis BIM 53
Figura 8 - Níveis de detalhamento - LOD 55
Figura 9 - Fluxo de intercâmbio de informações do arquivo IGES 63
Figura 10 - Formato arquivo IGES 64
Figura 11 - Pilares fundamentais da interoperabilidade 68
Figura 12 - Camadas esquema IFC 72
Figura 13 - Representação geométrica do IFC no Software Solibri Model Viewer 75
Figura 14 - Hierarquia de domínios e entidades IFC 76
Figura 15 – Corpo inicial arquivo IFC 78
Figura 16 - Corpo final do arquivo IFC 79
Figura 17 - Arquitetura declaração entidade IFC, conforme ISO STEP 81
Figura 18 - Projeto CAD da edificação 86
Figura 19 - Sobreposição do projeto CAD com projeto arquitetônico no ArchiCAD 87
Figura 20 - Modelo arquitetônico no ArchiCAD 87
Figura 21 - Composição de família tipo parede no ArhiCAD 88
Figura 22 - Extração quantitativo de blocos cerâmicos no ArchiCAD 89
Figura 23 - Configurações de exportação IFC no modelo arquitetônico 90
Figura 24 - Modelo arquitetônico IFC importado no Solibri 91
Figura 25 - Configurações importação do modelo estrutural no ArchiCAD 92
Figura 26 - Modelo estrutural importado no ArhiCAD 92
Figura 27 - Dados importados das colunas estruturais no ArchiCAD 93
Figura 28 - Elemento "GRID" importado sem classificação IFC 94
Figura 29 - Configurações para importação do modelo elétrico 95
Figura 30 - Modelo elétrico importado no ArchiCAD 95
Figura 31 - Detalhes do modelo elétrico no ArchiCAD 96
Figura 32 - Modelo estrutural no software Openbuildings 97

Figura 33 - Configurações de exportação do modelo estrutural no Openbuildings 99
Figura 34 - Modelo estrutural importado no Solibri 100
Figura 35 - Configuração de importação do modelo arquitetônico no Openbuildings 101
Figura 36 - Modelo arquitetônico referenciado dentro do Openbuildings. 102
Figura 37 - Elementos arquitetônicos não importados no Openbuildings..... 102
Figura 38 - Alinhamento do project base point com o modelo arquitetônico 103
Figura 39 - Desalinhamento do project base point com o modelo arquitetônico. 104
Figura 40 - Configuração de importação do modelo elétrico no Openbuildings. 104
Figura 41 - Modelo elétrico importado no Openbuildings. 105
Figura 42 - Detalhes da importação do modelo elétrico no Openbuildings. 106
Figura 43 - Interferências existentes entre os modelos elétrico e estrutural. 106
Figura 44 - Família de tomadas desenvolvida no Revit 107
Figura 45 - Modelo elétrico no Revit 108
Figura 46 - Configuração de exportação do modelo elétrico 110
Figura 47 - Modelo elétrico importado no Solibri 110
Figura 48 - Importação do modelo arquitetônico no Revit 111
Figura 49 - Modelo arquitetônico importado no Revit 111
Figura 50 - Detalhe das informações do elemento parede no Revit 112
Figura 51 - Detalhe das informações do elemento janela no Revit 113
Figura 52 - Detalhe lançamento de infraestrutura no Revit 114
Figura 53 - Detalhe de importação do elemento "NIVEIS" no Revit 115
Figura 54 - Modelo estrutural importado no Revit 116
Figura 55 - Falha na importação do elemento laje 116
Figura 56 - Falha na classificação da classe do elemento IFC 117
Figura 57 - Falha na classificação dos elementos vigas. 118
Figura 58 - Ferramentas utilizadas para importação dos modelos no Navisworks. 119
Figura 59 - Modelo arquitetônico importado no Navisworks. 119
Figura 60 - Modelo estrutural importado no Navisworks 120
Figura 61 - Modelo elétrico importado no Navisworks. 120
Figura 62 - Modelos federados no Navisworks 121
Figura 63 - Mapeamento de atributos IFC no ArchiCAD 122
Figura 64 - Detalhe configuração utilizada para exportação do modelo estrutural 123
Figura 65 - Detalhe configuração para exportação do modelo elétrico 124
Figura 66 - Grupos e itens criados para extração de quantitativos no Navisworks 125

Figura 67 - Especificação dos elementos importados para quantificação no Navisworks. 125
Figura 68 - Análise de interferências entre modelos desenvolvidos. 127
Figura 69 - Interferência entre elementos do modelo estrutural e elétrico. 128
Figura 70 - Interferência entre elemento do modelo estrutural com arquitetônico. 129
Figura 71 - Interferência entre elemento do modelo estrutural e infraestrutura elétrica. 129
Figura 72 - Interferências entre modelo estrutural e modelo elétrico..... 130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Softwares BIM certificados IFC 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores PIB e construção civil 29
Tabela 2 - Formatos de arquivos existentes 62
Tabela 3 - Versões IFC 65
Tabela 4 - Elementos inspecionados 84
Tabela 5 - Tipos de famílias paredes e subcamadas 88
Tabela 6 – Materiais extraídos no modelo arquitetônico 88
Tabela 7 – Elementos criados no modelo estrutural 97
Tabela 8 - Quantitativo extraído no modelo estrutural 98
Tabela 9 - Conjunto de famílias desenvolvidas no Revit 107
Tabela 10 - Quantitativo elétrico realizado na ferramenta Revit 108
Tabela 11 - Parâmetros IFC criados para exportação no ArchiCAD 122
Tabela 17 - Resumo das interferências encontradas 127

LISTA DE SIGLAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

BEP - *BIM Execution Plan*

BIM - *Building Information Modeling*

CAD - *Computer Aided Design*

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

IFC - *Industry Foundation Classes*

ISO - *International Standards Organization*

LOD - *Level Of Development*

NBR - Norma Brasileira

ND - Nível de Desenvolvimento

PMBOK - *Project Management Body of Knowledge*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **17**
1.1 OBJETIVOS 19
1.1.1 Objetivo geral **19**
1.1.2 Objetivos específico **20**
1.2 METODOLOGIA 20
1.2.1 Método de pesquisa **20**
1.2.2 Problematização **21**
1.2.3 Delimitação do trabalho **22**
1.2.4 Caracterização do estudo de caso **22**
1.2.5 Definição das ferramentas **23**
1.2.6 Estruturação do trabalho **24**
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **26**
2.1 PROCESSO DE PROJETO 31
2.2 FASES DE EXECUÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO 35
2.2.1 Estudo preliminar **37**
2.2.2 Anteprojeto **37**
2.2.3 Projeto legal / Projeto Básico **38**
2.2.4 Projeto executivo **38**
2.3 COMPONENTES DO PROJETO 39
2.3.1 Componentes gráficos **39**
2.3.2 Componentes documentais **40**
2.3.3 Levantamento de quantitativos **41**
2.3.4 Projeto compatibilizado **42**
2.4 BUILDING INFORMATION MODELING 44
2.4.1 Dimensões BIM **51**
2.4.2 Level of development **53**
2.4.3 Ferramentas BIM **55**
2.4.3.1 ArchiCAD 56
2.4.3.2 Revit 57
2.4.3.3 Openbuildings Designer 57
2.4.3.4 Navisworks 58
2.4.3.5 Solibri 58

2.5 INTEROPERABILIDADE 59
2.5.1 Tipos de formato de arquivos 61
2.5.2 Initial Graphics Exchange Specification 63
2.5.3 Industry Foundation Classes 64
2.5.4 Bases IFC 67
2.5.4.1 ISO 10303 STEP e linguem EXPRESS 68
2.5.4.2 IDM – Information Delivery Manual 69
2.5.4.3 MVD – Model View Definitions 70
2.5.4.4 IFD – International Framework for Dictionaries 70
2.5.5 Arquitetura IFC 71
2.5.5.1 Camada de recursos 72
2.5.5.2 Camada do núcleo 73
2.5.5.3 Camada de interoperabilidade 73
2.5.5.4 Camada de dominio 74
2.5.6 Relacionamento entre entidades IFC 74
2.5.7 Estrutura do arquivo IFC 78
2.6 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS BIM 82
3 DESENVOLVIMENTO 84
3.1 CARACTERISTICAS DO MODELO 86
3.2 MODELO ARQUITETÔNICO 86
3.2.1 Exportação IFC do modelo arquitetônico 90
3.2.2 Interação modelo arquitetura e estrutural no ArchiCAD 91
3.2.3 Interação modelo arquitetura e elétrico no ArchiCAD 94
3.3 MODELO ESTRUTURAL 96
3.3.1 Exportação IFC do modelo estrutural 99
3.3.2 Interação modelo estrutural e arquitetura no Openbuilding 101
3.3.3 Interação modelo estrutural e elétrico no Openbuilding 104
3.4 MODELO ELÉTRICO 106
3.4.1 Exportação IFC do modelo elétrico 109
3.4.2 Interação modelo elétrico e arquitetura no Revit 110
3.4.3 Interação modelo elétrico e estrutural no Revit 115
3.5 MODELO COMPATIBILIZADO 118
3.5.1 Extração dos quantitativos 121
3.5.2 Compatibilização dos modelos 126

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 131
4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 134
REFERÊNCIAS 135
ANEXOS 142
ANEXO A – PROJETO ARQUITETÔNICO 143
ANEXO B – MODELOS BIM 144
ANEXO C – CAMADAS IFC 147
ANEXO D – DETALHES MODELOS 149
ANEXO E – TABELA ELEMENTOS ANALISADOS 157

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem um papel de destaque na economia nacional e mundial, mobilizando diversas equipes e mercados, constituindo assim uma parcela notável dentro do Produto Interno Bruto (PIB). Por essa razão ela é alvo constante de estudos que promovam avanços de eficiência e produtividade. Entretanto, problemas substanciais ocorrem de forma reiterada em todos os processos da indústria da construção civil, como atrasos nas entregas, quebra orçamentária, deficiência na qualidade do produto e gestão ineficiente. Smith e Tardif (2009) alertam para o fato de que esta indústria enfrenta uma iminente crise mundial, pois nela impera o consumo ineficiente de materiais e energia resultando em um problema de ordem global.

O engenheiro civil, por sua vez, tem relevante importância dentro deste contexto, tanto para a indústria da construção, quanto para a sociedade, pois é ele o agente responsável pelo desenvolvimento, execução e operação de projetos da indústria da construção civil. Além disso, para tal efeito, o engenheiro civil deve dispor de características e conhecimentos básicos, paralelamente ao domínio das técnicas inerentes à profissão, como comunicação e expressão, assim como a compreensão e entendimento do funcionamento geral de uma sociedade, através de contexto político, social e econômico, como aponta Bazzo e Pereira (2012).

A capacidade de comunicação e expressão se tornam elementos fundamentais e estratégicos dentro do desenvolvimento de um projeto, onde a interdisciplinaridade se faz presente praticamente em todos os projetos. De fato, um projeto de engenharia para ser bem sucedido não depende somente da aplicação de normas, técnicas e modelos de cálculos. É indispensável que ocorra com eficácia a comunicação entre seus agentes, assim como seus resultados, desta forma, a análise e a interpretação e comunicação de um projeto é parte essencial para seu sucesso.

Deste modo, o nível de amadurecimento que os atuais projetos da indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) têm atingido, cada vez mais complexos, envolvendo diversas equipes e a extensa quantidade de processos pertinentes ao seu desenvolvimento, somada a volumosa quantidade de informação, evidencia a extrema necessidade de um sistema de comunicação eficiente.

> A comunicação eficaz cria uma ponte entre as diversas partes interessadas no projeto, que podem ter diferenças culturais organizacionais diferentes níveis de cultura e diversas perspectivas e interesses que podem impactar ou influenciar a execução ou resultado do projeto (PMBOK, 2013, p. 287).

Os problemas abrangendo o intercâmbio entre o grande volume de informações e a interdisciplinaridade envolvem os projetos da indústria da construção, são grandes barreiras a serem rompidas, desta forma, conforme Catelani e Santos (2016), somente a inovação e a mudança podem solucioná-los. Segundo Gomes e Gonçalves (1993), a inovação tecnológica é requisito básico para redução de esforços, aumento da produtividade e melhoria na qualidade do produto, sendo estes os pilares fundamentais de uma sociedade industrializada.

Para Bock (2015) e Campestrini *et al*. (2015), o desenvolvimento e a utilização de inovações tecnológicas, são de extrema importância para alavancar o desenvolvimento de projetos da indústria da construção, objetivando a resolução de problemas evidenciados dentro da construção civil. Também Kassem e Succar (2016) sugerem que um dos termos utilizados como sinônimo de inovação, atualmente, dentro da indústria da construção é referenciado ao BIM. O Building Information Modeling confronta todos estes problemas evidenciados, de forma a realizar uma modelagem computacional, com a finalidade de simular uma construção real que resulte na representação de um modelo com alto grau de informação, inteligente e interoperável, onde os usuários podem extrair e analisar informações para auxiliarem na tomada de decisões aumentar a produtividade, a eficiência no desenvolvimento de projetos de forma centralizada (ERNSTROM *et al*., 2006).

Dentro da metodologia é imprescindível que seja dado ênfase ao termo "*information*", sendo este o eixo central no processo de modelagem e prototipagem da informação da construção, ou seja, um agente facilitador na integração e colaboração em projetos interdisciplinares. Para Miriam (*et al.,* 2010), a interoperabilidade torna-se fator indispensável para o êxito durante o intercâmbio de informações. Através de um sistema totalmente interoperável é possível realizar a troca de dados entre softwares, permitindo a sua reutilização de forma automatizada (EASTMAN, 2011).

Para a Câmara Brasileira da indústria da construção (2016, v. 3, p. 120-121), atualmente o mercado está repleto de softwares, sejam eles responsáveis por modelagem, pela visualização, análise, planejamento, orçamentação, compatibilização, entre outros. Conforme Baia (2015), isto inviabiliza a adoção de somente um software para realizar as diversas disciplinas existentes, tornando assim, a interoperabilização um assunto cada vez mais abordado.

No intuito de resolver as ineficiências na reutilização das informações inseridas em um modelo virtual e seus intercâmbios, Miriam et al. (2010), ressalta que o IFC "Industry Foundation Classes" tornou-se mundialmente conhecido com um padrão de linguagem de máquina, de código aberto desenvolvido e mantido pela organização BuildingSMART, para

gerar e reunir as informações do modelo de dados da construção. Isso possibilita, de forma consistente, o intercâmbio de dados entre softwares, entretanto, a referida tecnologia ainda encontra certa resistência para desempenhar seu papel fundamental no desenvolvimento de um modelo totalmente confiável e interoperável perante o BIM, principalmente durante os processos de compatibilização e coordenação do projeto entre as diversas disciplinas.

O difundido processo de compatibilização através de seus modelos tradicionais já não é suficiente para a interação multidisciplinar, de forma eficiente e dinâmica, o que exige inovação na realização deste processo (CHEN e LUO, 2014). Dentro deste contexto de integração, interoperação de dados e a compatibilização através de softwares BIM, envolvendo as diversas disciplinas, desempenham papeis fundamentais, impactantes na qualidade final do produto, desta forma, a exigência da interoperabilidade entre os softwares é primordial, o que denota a indispensabilidade da perfeita sinergia entre todos os seus agentes e seus processos.

1.1 OBJETIVOS

Como forma de analisar os processos envolvidos durante o desenvolvimento de projetos de edificações utilizando-se os conceitos e processos adotados pela metodologia BIM, esta pesquisa pretende analisar a eficiência do esquema IFC para troca de dados e comunicação entre os agentes, perante a adoção da metodologia BIM e suas diversas ferramentas, pelo intermédio de modelos de dados da construção de domínios específicos durante a compatibilização decorrente do processo de integração destes modelos, assim como, análise qualitativa do resultado obtido pela interoperação de dados entre softwares particulares ao seu domínio de aplicação, demonstrando desta forma que os processos envolvendo integração e comunicação através do esquema IFC encontram-se de forma substancialmente funcionais, razão esta que possibilita a propagação de erros em vários níveis.

1.1.1 Objetivo geral

Realizar a análise da eficiência da interoperabilidade perante o intercâmbio de informações entre as disciplinas envolvidas em um projeto interdisciplinar de edificação (arquitetônico, estrutural, elétrico e hidráulico), a partir do padrão IFC, dentro da plataforma Navisworks.

1.1.2 Objetivos específico

- Analisar e desenvolver um modelo arquitetônico através a ferramenta ArchiCAD;
- Analisar e desenvolver um modelo estrutural através da ferramenta Openbuildings;
- Analisar e desenvolver um modelo elétrico, através da plataforma Revit;
- Compatibilizar os modelos interdisciplinares elaborados para arquitetura, estrutural e elétrico, coordenando-os através da ferramenta Navisworks;
- Desenvolver um modelo 5D BIM a partir dos modelos 3D arquitetônico, estrutural e elétrico de elementos específicos.

1.2 METODOLOGIA

Diante dos problemas evidenciados e que frequentemente decorrem da ineficiência nos processos que envolvem a comunicação durante a realização do projeto desenvolvido por equipes multidisciplinares, observa-se o impacto diretamente as fases posteriores de planejamento e execução em obras de grande complexidade. Desta forma pretende-se demonstrar a qualidade envolvida nos processos de interoperação de dados, através do esquema IFC, e compatibilização do projeto de edificação envolvendo diversas equipes de trabalho, utilizando softwares apropriados a metodologia BIM.

Para execução desta pesquisa foram escolhidos diversos autores renomados, analisados de forma criteriosa dentro da literatura nacional e estrangeira. Através de métodos e técnicas já consagradas no desenvolvimento de pesquisas, esta será elaborada com a intenção de ampliar os conhecimentos já produzidos a respeito do tema.

1.2.1 Método de pesquisa

Esta pesquisa será realizada através de método hipotético-dedutivo, onde por conjecturas serão confrontados dados de pesquisa bibliográfica, observações diretas em adição a um estudo de caso, todos os processos envolvidos durante o intercâmbio de informações de um modelo de dados da construção, de forma a avaliar perante controle de variáveis pré-

definidas, se o problema em questão pode ser falseado ou não, deduzindo assim sua autenticidade e realidade.

Conforme Gil (2008) o problema justifica a aplicação do conhecimento para a solução de um problema não indutivo, desta forma a formulação de conjecturas busca confrontar os dados obtidos em pesquisa para solucionar devido problema através de tentativas de falseamento, e por consequência derrubar determinadas conjecturas.

Para confrontação do problema e formulação de conjecturas faz-se necessário a utilização de métodos de pesquisa, desta forma serão utilizados métodos de pesquisa bibliográfica para atualização do conhecimento existente acerca do tema, a observação individual deste conhecimento para realizar a formulação de hipóteses e estudo de caso para confrontamento do conhecimento existente para tentativa de falseamento destas hipóteses.

1.2.2 Problematização

Decorrente dos avanços tecnológicos advindos da tecnologia da informação e suas novas ferramentas, processos e metodologias aliado a novos materiais da engenharia de materiais, novas fronteiras possibilitaram dentro da indústria da construção, edificações e construções cada vez mais complexas e repletas de desafios, requisitando aos profissionais desta indústria novas habilidades.

Dentre estas novas necessidades dos profissionais, o gerenciamento da comunicação é parte fundamental e intrínseca ao desenvolvimento de projetos, para que soluções sejam desenvolvidas pelos profissionais envolvidos e comunicadas entre todos os envolvidos de forma clara e objetiva.

A inovação e tecnologia apresentaram ao mercado novas ferramentas, processos e metodologias para o desenvolvimento de projetos da indústria da construção impactando diretamente na forma em que o gerenciamento da comunicação é realizado e seus formatos de comunicação para a troca de informação entre todos os envolvidos na cadeia da construção.

Aponta-se o formato IFC como sinônimo de solução para o intercâmbio de dados para estes novos processos, tecnologias e ferramentas, sendo assim este trabalho tem o intuito de questionar e analisar a eficiência durante o intercâmbio de informações entre as partes envolvidas durante o desenvolvimento de um projeto de edificações da indústria da construção.

1.2.3 Delimitação do trabalho

O objeto de estudo deste trabalho embora possua grande complexidade e dimensão possui suas delimitações no intuito estabelecer seus limites dando maior ênfase em seu tema principal que se refere aos processos de intercâmbio de dados entre modelos de informação da construção, desenvolvidos entre softwares e disciplinas distintas, federados e compatibilizados em ferramenta especialista.

Com relação ao desenvolvimento dos modelos da construção estes serão elaborados a partir de projeto arquitetônico desenvolvido através de ferramentas CAD, conforme anexo A sendo este elemento norteador relativo à modelagem dos modelos de informação da construção, desenvolvidos perante a utilização de ferramentas BIM. Este trabalho tem o intuito de apresentar somente a modelagem e desenvolvimento de projetos interdisciplinares de edificação da indústria da construção, de forma a representar somente projeto arquitetônico, estrutural e elétrico, além disso não alongando-se a outros setores da cadeia da construção.

A elaboração destes modelos será delimitada ao desenvolvimento dos elementos da construção, conforme anexo E, sendo estes itens analisados durante o intercâmbio das informações entre os distintos softwares escolhidos, com o propósito de investigar nosso objeto de estudo.

A partir destas trocas, busca-se evidenciar as conformidades e não conformidades perante o uso do formato de dados IFC, sendo este elemento único e balizador em todas os intercâmbios de informações relacionados ao desenvolvimento dos modelos deste trabalho.

1.2.4 Caracterização do estudo de caso

Para o estudo de caso em questão, será desenvolvido um modelo digital através das ferramentas previamente selecionadas, de forma a possibilitar o intercâmbio de dados relacionados aos modelos específicos entre plataformas. Por conseguinte, em um ambiente interoperável será simulado uma análise de interferência entre as disciplinas do projeto assim como a extração de quantitativo de materiais específicos, integrando todos os modelos existentes, de forma a analisar a eficiência na interoperabilidade com o formato IFC, que é parte do objeto de estudo. Devidas modelagens da dados da construção necessárias, serão derivadas de um projeto desenvolvido a partir do modelo tradicional de desenvolvimento de projetos com ferramentas CAD.

Ao realizar a modelagem e interoperabilização entre os modelos arquitetônicos, estruturais, elétricos e hidráulicos, modelados de formas distintas, será possível realizar uma primeira análise da interoperabilidade entre dois modelos específicos em seus ambientes de modelagem e por meio de extração da informação modelada em cada software específico, será possivel elaborar tabela com relação a quantidade de material necessária para execução. Entretanto, uma análise completa e robusta deve ser concretizada ao fim da compatibilização destes projetos, por meio da ferramenta Navisworks, onde será possível obter uma visão global do projeto e suas interferências, assim como realizar a extração de informações relacionadas ao quantitativo de cada domínio em específico.

Através deste processo será possivel confrontar visualmente a modelagem executada e interoperada assim como realizar analise, através da comparação de dados extraídos possibilitando assim conclusões sobre a qualidade do esquema IFC para interoperabilidade.

1.2.5 Definição das ferramentas

As ferramentas computacionais selecionadas para a execução e o desenvolvimento desta pesquisa foram: o software Navisworks, responsável pela coordenação e análise de interferências dos modelos desenvolvidos através das ferramentas ArchiCAD, utilizado para a elaboração do modelo arquitetônico da edificação , software Openbuildings para elaboração do modelo estrutural e a plataforma REVIT, para a desenvolvimento dos modelos, elétrico e hidráulico, o que possibilita a representação do ambiente necessário para a completa compatibilização entre modelos BIM em um ambiente interoperável multidisciplinar.

As ferramentas foram escolhidas com a evidenciação dos termos em bases de dados conceituadas, tais como CAPES e Scielo. Também em consonância e de acordo com pesquisas de satisfação e popularidade no uso das mesmas, elaborados pela organização G2 Crowd, uma organização sem fins lucrativos que, a partir de uma base cadastral de mais de 400.000 usuários, analisa os critérios de satisfação e popularidade no uso de ferramentas computacionais de diversas categorias. Diante deste cenário, dentro da categoria plataformas BIM segundo G2 Crowd (2018), o software Revit, atualmente junto com sua desenvolvedora, a Autodesk, é líder de mercado. É considerado o software mais satisfatório no desenvolvimento de projetos BIM, o que firmou a escolha do Revit como ferramenta de modelagem dos modelos complementares como elétrica e hidráulica. Por consequência da liderança de mercado da empresa Autodesk, também adotou-se o software Navisworks como ferramenta de coordenação e compatibilização dos modelos BIM.

A ferramenta ArchiCAD da empresa Nemetschek foi adotada para elaborar o modelo arquitetônico, e consequentemente para modelagem estrutural do projeto foi utilizado o software Openbuilding da empresa Bentley, por apresentarem alternativas correlatas à referida pesquisa.

1.2.6 Estruturação do trabalho

A estruturação deste trabalho, de forma a facilitar sua compreensão é feito através da divisão em 7 tópicos principais e suas derivações, onde em seu primeiro tópico são abordados conceitos introdutórios, assim como a descrição dos objetivos e metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa, em adição estão inclusos neste capítulo definições sobre as características do estudo de caso, a delimitação desta pesquisa e problematização para o objeto de estudo.

No segundo capítulo são apresentadas informações acerca da pesquisa bibliográfica e sua fundamentação teórica no intuito de criar embasamento para o desenvolvimento da pesquisa.

Em seu terceiro capítulo deste trabalho é contemplado o desenvolvimento da pesquisa embasado pela fundamentação teórica na busca pela solução apresentada durante a problematização do objeto de estudo desta pesquisa.

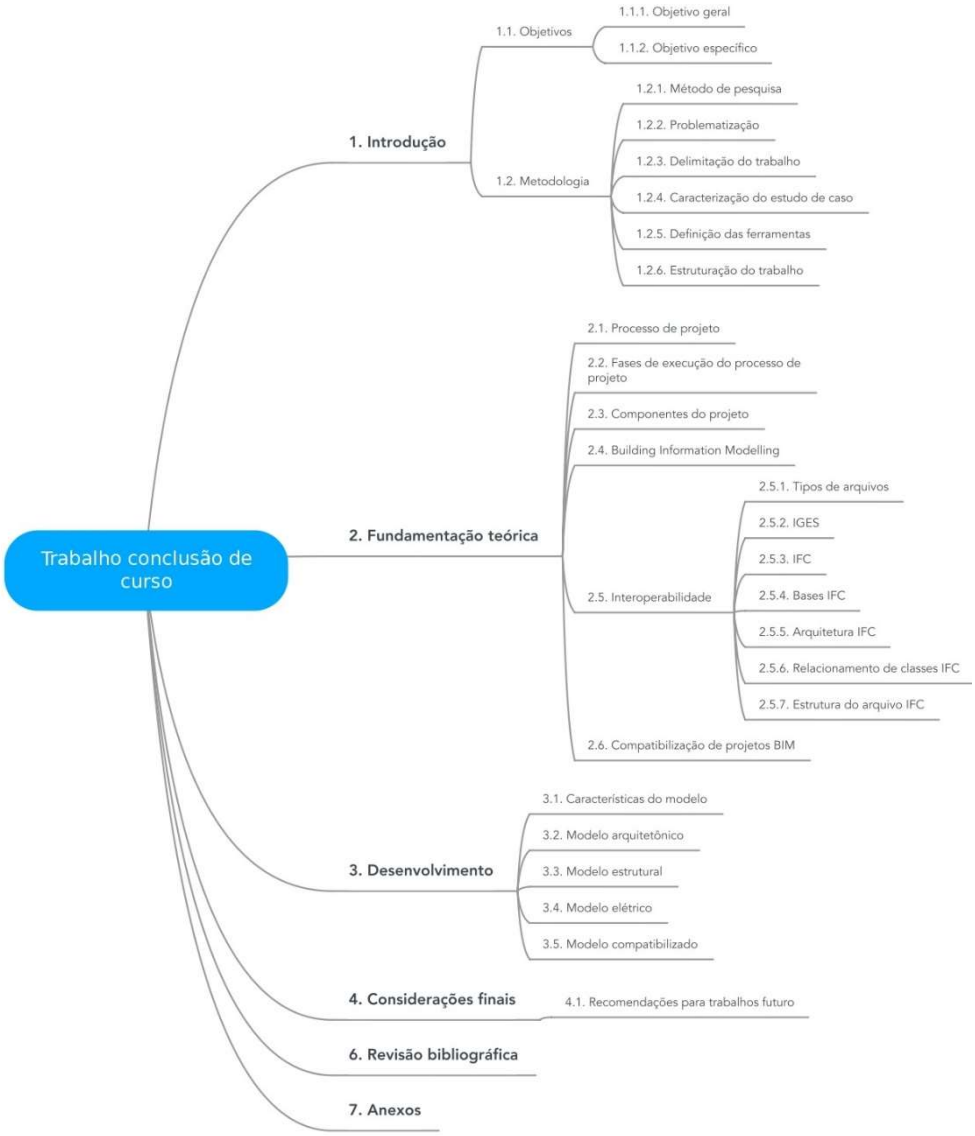
O quarto capítulo apresenta as considerações finais extraídas e resumidas após o desenvolvimento da pesquisa, evidenciando seus resultados obtidos.

O quinto capítulo faz apontamentos e sugestões a pesquisas futuras, que por não fazerem parte do objeto do estudo desta pesquisa não foram abordados, ou podem dar melhores expectativas para solução de outros problemas.

Os últimos dois capítulos deste trabalho evidenciam as referências bibliográficas e pesquisadores utilizados durante o desenvolvimento do mesmo e anexos nos quais não foram disponibilizados em seus capítulos originários por requererem um espaço maior para sua apresentação.

Conforme figura 01 é possivel verificar a estruturação do trabalho.

Figura 1 - Estrutura do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme Teixeira e Bazzo (2012), a engenharia como ciência aplicada atualmente tomou grandes proporções, suas técnicas, competências e conceitos todos foram remodelados com o tempo, assim a engenharia que conhecíamos no passado não é a mesma que usufruímos hoje. A aplicação de conhecimento empírico, indubitavelmente não faz mais parte da engenharia moderna, os processos construtivos aos poucos vêm ganhando novos componentes devido à escassez de recursos e a evolução constante. Alguns termos como economia, gestão, comunicação, interoperabilidade, produtividade, inovação e eficiência assumiram novas propostas e conceitos dentro da engenharia, de forma que, reúnem-se para contextualizar com as atuais necessidades socioeconômicas de uma sociedade moderna e globalizada.

A compatibilização de projetos envolvendo a indústria da construção civil através de novas metodologias e ferramentas, advindas das inovações tecnológicas existentes, segue ao encontro da evolução humana, onde as grandes inovações deram surgimento aos grandes avanços científicos transcorridos pela humanidade, em busca de resultados para uma maior qualidade de vida.

De forma a conceber o entendimento referente aos termos evidenciados como interoperabilização, compatibilização, comunicação, engenharia e outros, para o discernimento de seus conceitos de forma sensata, é necessário que façamos uma reflexão sobre cada termo dissociado, afim de realizarmos uma contextualização global, compreendendo de forma clara a necessidade de inovação dentro deste contexto.

O desenvolvimento e execução de projetos dentro da engenharia refere-se a uma habilidade técnica e gerencial, representando uma atividade que vem sendo perpetuada desde a antiguidade onde projetos como as pirâmides do Egito, os jardins suspensos da Babilônia, os aquedutos do império Romano, assim como vários outros ainda encantam e impressionam pela complexidade de concepção e execução envolvida à época, assim como sua beleza, segundo Ballantyne (2012). Diversos nomes como Arquimedes, Hamurabi e Marcus Vitruvius Pollio ressoam ainda nos dias de hoje devido as suas realizações e contribuições para a humanidade, mesmo que ainda de forma totalmente rudimentar, diversos projetos foram concebidos e executados.

No intuito de definir o conceito de “engenharia” encontra-se segundo Dicionário Houaiss (2009, p. 760) que devido termo refere-se a “aplicação de métodos científicos ou empíricos, na utilização dos recursos da natureza em benefício do ser humano.”. Devido conceito representa uma definição moderna do termo, pois a engenharia em seu princípio

apresentava técnicas superficiais e básicas durante seu desenvolvimento. Conforme Telles (1994), a engenharia como forma de aplicação de conhecimentos científicos inseridos no contexto da arte de construir é relativamente recente.

De acordo com Bazzo e Teixeira (2012) grande parte da propagação do conhecimento é proveniente do aperfeiçoamento de um conhecimento chinês denominado de imprensa, que culminou na invenção da prensa mecânica, possibilitando desta forma a disseminação da ciência e suas técnicas de forma rápida e abrangente, gerando assim um ponto inicial para passagem da engenharia praticada de forma empírica, para processos mais técnicos providos de conhecimento científico.

De maneira análoga a engenharia civil confunde-se com a própria história da engenharia proveniente desde a antiguidade através de construções utilizando métodos empíricos, onde através da evolução da ciência, foi transposta a barreira do conhecimento atingindo a engenharia moderna, que utiliza técnicas e processos proveniente do conhecimento cientifico, de fato, o termo engenheiro civil é recente, de forma que somente ao final do século XVIII, foi descrito como profissão pelo engenheiro John Smeaton, um dos primeiros estudiosos do conhecido cimento Portland, de forma a se auto intitular e distinguir-se do engenheiro militar conforme Telles (1994).

Uma vez visto que a engenharia e seus profissionais, são objetos de estudo em suma recentes, a competência envolvendo suas habilidades e necessidades no desenvolvimento da ciência como profissão, de forma análoga também moldou-se ao passar dos anos. Se nos primórdios da engenharia civil o profissional executava seus projetos de forma empírica, nos dias de hoje é impraticável a atuação do engenheiro civil desta maneira incerta, consequentemente novas capacidades e habilidades surgiram de forma a tornarem-se capacidades inerentes a profissão do engenheiro civil.

De acordo com o CREA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, através de deliberação para resolução n°. 1.048 de 14 de Agosto de 2013, o engenheiro civil tem grande importância dentro da indústria da construção civil, pois através da mesma, fixa como competência base para o profissional o desenvolvimento, execução e operação de projetos da indústria AEC, entretanto o mesmo não regula quais seriam as condições e habilidades base para o desenvolvimento deste profissional, fator este de responsabilidade do Ministério da Educação em suas diretrizes curriculares.

Desta forma, para uma eficaz aplicação dos conhecimentos técnicos dentro do que propõe o CONFEA, o profissional deve de forma complementar buscar sempre novos conhecimentos e habilidades técnicas, como resultado destas novas habilidades necessárias

essenciais ao profissional da construção. Conforme analisa Cardoso (2008) o próprio mercado moldou estas novas necessidades ao novo profissional exigindo novas competências como liderança, gestão, habilidades de comunicação oral e escrita, conhecimento de línguas estrangeiras entre outros, além de domínio e aptidão as relações humanas extremamente essenciais a sinergia envolvendo equipes de trabalho. Segundo Silveira (2005) a nova engenharia transcende a barreira técnico-científica, abrangendo atualmente novas habilidades gerenciais e humano-sociais impactando diretamente a sociedade que através de seus desejos e necessidades anseiam soluções as variados ambientes político, social e cultural.

Para Bazzo e Teixeira (2012) o termo comunicação representa uma forte expressão dentro da engenharia, além do conhecimento de assuntos gerais para o entendimento político, social e econômico do funcionamento da sociedade, impactando diretamente para o desenvolvimento do oficio de um engenheiro. Por consequência em uma análise criteriosa verifica-se, que somente através da aplicação do conhecimento específico da engenharia e normas técnicas envolvidas em um projeto de engenharia, não são suficientes para suprir a necessidade de um projeto.

Paralelamente a todo este contexto de atendimento a sociedade, e habilidades necessárias para o perfeito desenvolvimento de uma engenharia sustentável, encontra-se o sistema econômico, sendo este um dos fatores mais influentes perante ao desenvolvimento de qualquer atividade econômica social, pois direta ou indiretamente representa uma infinidade de setores que se inter-relacionam. Conforme Carvalho e Teixeira (2005), está interligação entre estes variados setores econômicos demonstram a importância da construção civil dentro do macro setor da economia, denotando assim este como setor chave na maximização da expansão econômica.

Ao realizar uma análise do produto interno bruto nacional, verifica-se que uma grande parcela é oriunda do impacto promovido pela construção civil e seus setores interligados. De acordo com a CBIC - Câmara Brasileira da Industria da Construção que representa de forma institucional todo o setor da construção civil promovendo a integração setorial no âmbito nacional e internacional, o setor representou perante o ano de 2019, 3,71% do PIB nacional, totalizando um valor aproximado de mais de R$ 230 bilhões movimentados dentro da economia brasileira, o que reforça a sua adoção como setor chave dentro da economia. (CBIC, 2020).

Tabela 1 - Valores PIB e construção civil

ANO	PIB BRASIL - Valores correntes (R$ 1.000.000)	VALOR ADICIONADO BRUTO - VABpb - Valores correntes (R$ 1.000.00)		Participação do VABpb CONSTRUÇÃO CIVIL
		BRASIL	CONSTRUÇÃO CIVIL	
2010	3.885.847	3.302.840	206.927	6,27%
2011	4.376.382	3.720.461	233.544	6,28%
2012	4.814.760	4.094.259	265.237	6,48%
2013	5.331.619	4.553.760	290.641	6,38%
2014	5.778.953	4.972.734	306.946	6,17%
2015	5.995.787	5.155.601	296.018	5,74%
2016	6.268.328	5.419.822	275.187	5,08%
2017	6.583.319	5.669.766	244.711	4,32%
2018	6.889.176	5.894.500	228.457	3,88%
2019	7.256.926	6.212.777	230.406	3,71%

Fonte: CÂMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Brasilia, DF, 2020. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil

Este valor é resultado da representatividade que a indústria gera dentro da economia nacional, demonstrando assim a importância do setor no desenvolvimento da economia de um país, maximizando a geração de empregos, rendas, tributos e principalmente qualidade de vida a sociedade como um todo.

De acordo com Gondim et al. (2004), dentro da indústria da construção civil, é possivel de forma elementar realizar uma subdivisão da mesma em três grandes setores responsáveis diretos da cadeia produtiva da indústria, sendo elas a construção pesada, montagem industrial e edificações, onde dentro destas divisões é de responsabilidade da construção pesada, projetos de infraestrutura em geral, o subsetor de montagem industrial refere-se a própria instalação industrial e meios de transmissão de energia e telecomunicação restando ao subsetor de edificação, projetos de construção de edifícios e projetos de instalações complementares. Tal divisão refere-se de forma direta no micro setor a indústria da construção, entretanto o macro setor da indústria envolve diversos setores que se inter-relacionam moldando este, como setor chave da economia.

Adam Smith em sua obra “A riqueza das nações”, descreve subjetivamente que o desenvolvimento econômico de uma nação é altamente dependente da eficiência da produtividade que a mesma relaciona as suas funções produtivas. Para Teixeira e Carvalho (2005) o desenvolvimento econômico sustentável tem como pré-condições básicas, a disponibilidade de sistemas de transportes envolvendo rodovias, ferrovias, portos e aeroportos, sistemas de telecomunicações e energia disponíveis, de forma que sem estes, seria praticamente inviável o desenvolvimento do primeiro, segundo e terceiro setor econômico.

Dentro da indústria da construção civil, um setor que demonstra a capacidade de sucesso dentre todos estes projetos essenciais ao desenvolvimento econômico de um país, é o setor de desenvolvimento de projetos, que assim como a engenharia vem sofrendo permanentes mudanças na sempre incessante busca pela eficiência, produtividade e qualidade na concepção, execução e operação destes projetos. Conforme Cardoso (2008) o profissional da engenharia civil que tinha ênfase somente ao projeto, hoje busca o desenvolvimento dos mesmos através de técnicas e habilidades direcionadas a gestão de projetos, demonstrando assim a importância e a necessidade de um projeto planejado e executado com eficiência.

O desenvolvimento sustentável da economia através de qualquer setor econômico, passa invariavelmente pelo desenvolvimento técnico produtivo, através da inovação voltada ao desenvolvimento de novos produtos, para o mercado atuante. De acordo com Campos e Valadares (2006) a inovação tecnológica é de extrema importância para o desenvolvimento econômico, pois através dela gera-se ganhos em eficiência e produtividade, haja visto o surpreendente desenvolvimento econômico sofrido pela Coreia do Sul através do impacto gerado por investimentos em pesquisa e inovação em três décadas.

Grandes avanços no âmbito econômico são reflexos diretos de produtos inovadores, conforme Gastaldi (2012) as evoluções técnicas desempenham papel extremamente importante no desenvolvimento da sociedade e economia, de forma que nenhuma sociedade consegue chegar ao seu desenvolvimento pleno sem o uso da inovação. Bazzo e Teixeira (2012) estabelecem que a humanidade sempre estará em evolução e desenvolvimento, entretanto experimentos tecnológicos inovadores, ao chegarem ao mercado consumidor desempenham fator impactante para o progresso científico e desenvolvimento de uma nação, a diferenciando de forma positiva em relação a outras nações.

Para Pacheco e Almeida (2013) a inovação e conhecimento não satisfazem somente o aumento da produtividade, mas são fatores chave para um desenvolvimento futuro, onde através deles a indústria reveste-se de um tecido industrial inovador para enfrentar seus concorrentes, de forma a estabelecer um perfil imponente dentro do cenário econômico, resultando na ampliação do potencial de crescimento, desenvolvimento de renda e redução da desigualdade de forma sustentável para a nação, segundo Gomes e Gonçalves (1993) salientam, dentro de uma sociedade totalmente industrializada existem três princípios básicos que a inovação promove, sendo eles a redução dos esforços, aumento de produtividade e melhoria na qualidade de vida.

Evidencia-se desta forma, que o papel da inovação dentro de um setor produtivo é de extrema relevância conferindo vantagem competitiva dentro de um mercado industrial e

globalizado, entretanto a indústria da construção civil de forma contrária ao analisado em diversas industrias, não tem assimilado a adoção de novas tecnologias e inovações dentro de sua própria cadeia produtiva. Neste contexto, Bock (2015) de forma crítica refere-se a indústria da construção com um setor totalmente estagnado a anos e sem perspectiva de mudança, sendo necessário urgentemente a adoção da tecnologia e automação para alavancar o setor.

Dentro do âmbito do desenvolvimento de projetos de edificação o BIM representa a renovação de métodos, ferramentas e processos, introduzindo novos processos e aperfeiçoando processos existentes através da adoção deste conhecimento tecnológico e inovador. Seguindo esta abstração, para Campestrini et al. (2015) a inovação que o BIM estabelece não é somente de caráter tecnológico através de ferramentas desenvolvidas pela tecnologia da informação, mas também recebe um viés conceitual remodelando processos e criando novos, como modelagem de dados da construção e interoperabilidade, portanto a reformulação dos processos da indústria da construção, gerou ações que dificultam sua adoção, devido a não compreensão destes novos conceitos atrelados a uma nova metodologia de projetos.

Segundo Succar (2016), o BIM é sinônimo de inovação e representa a impulsão necessária para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e produtivos objetivando preceitos básicos dentro de um contexto social, econômico e tecnológico como redução dos esforços dos envolvidos, aumento da qualidade dos produtos, sustentabilidade referente aos recursos utilizados, automação da construção e redução de custos envolvidos, entre outros.

2.1 PROCESSO DE PROJETO

Uma edificação em suma é resultado da concepção e execução de um projeto da construção civil, onde seu desenvolvimento é totalmente processado através de métodos, técnicas e procedimentos. De fato nos dias de hoje é totalmente inconcebível a realização de uma edificação, sem que para o mesmo tenho sido desenvolvido um projeto, primeiramente devido à complexidade envolvida na sua concepção e segundo devido a necessidade de aprovação perante aos olhares técnicos de organizações fiscalizadoras como o CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia e outras.

Para Bazzo e Teixeira (2013), projeto é um termo que denota as características da profissão do engenheiro para resolução de problemas através da análise e síntese dos mesmos, onde seu desenvolvimento é realizado através de um plano de execução, objetivando alcançar

metas definidas para orçamento e tempo. Ainda para os autores seu desenvolvimento implica na necessidade de envolver ciência nas mais variadas áreas de conhecimento para sua resolução.

A definição clássica de um de um projeto delineada pelo guia PMBOK (2013, p. 3), é de que o termo é definido como, “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”, onde é dado ênfase ao conceito temporal, indicando que o mesmo possui início e fim delimitado, o caracterizando como resultado único da concepção e resolução de um problema, entretanto no intuito de atender aos seus requisitos e objetivos de maneira eficiente e produtiva deve-se empregar técnicas, ferramentas e conhecimentos através do gerenciamento de projeto.

Uma análise mais criteriosa das definições expostas, revelam que um projeto é resultado das investigações realizadas devido ao problema exposto, resultando em uma síntese elaborada de forma documental e organizada, objetivando enfrentar o menor número de riscos durante a sua execução, onde para tal deve-se utilizar métodos, técnicas e ferramentas para gerenciar seu desenvolvimento de forma a aumentar sua eficiência e produtividade.

Para Mikaldo Jr. e Scheer (2008) independentemente do objetivo a ser alcançado e a complexidade do projeto, sua execução é resultado intrínseco da utilização de técnicas e ferramentas utilizadas para sua concepção e desenvolvimento, entretanto nem sempre a construção civil lançou mão do artificio de gerenciamento para desempenho desta função. Conforme Codas (1987) a gerência empírica de projetos sempre ocorreu, contudo o planejamento começou a ser utilizado somente no início do século XIV e sua exigência passou a ser mais relevante durante a complexidade dos projetos envolvendo as operações militares da II Guerra Mundial, todavia sua perpetuação como metodologia cientifica, data de meados da década de 70, resultando no estudo de metodologias de projetos.

A atual demanda pelo gerenciamento de projeto é impulsionada por diversos fatores, principalmente pela inoperância e desempenho insatisfatório em relação a execução dos projetos. Fatores como improdutividade dos recursos humanos, redução das margens de lucro, ineficiência na utilização de recursos, a enorme quantidade de desperdício de recursos e outros, denotam a necessidade de otimizar os processos relacionadas ao desenvolvimento de projetos. Conforme Lukosevicius et al. (2017), a complexidade envolvendo os diversos projetos de engenharia é reconhecido como principal fator para o aprimoramento da gerência de projetos, já para Oliveira e Melhado (2006) a baixa produtividade, baixo índice de industrialização dos processos e qualificação insuficiente dos profissionais classificam o setor como atrasado impactando na baixa qualidade do produto final.

Projetos como a Usina de Itaipu no Brasil e o canal do Panamá com extensão de 77 quilômetros interligando o oceano Pacífico e o oceano Atlântico, listados como uma das 7 maravilhas do mundo moderno pela Associação Americana de Engenheiros Civis segundo a organização internacional 7wonder (2007), e projetos de edificação como a torre CN em Toronto no Canadá e o edifício mais alto do mundo o Burj Kalifa localizado em Dubai nos Emirados Árabes Unidos, demonstram a alta complexidade envolvendo os projetos da construção civil e a necessidade de aplicação do gerenciamento de projetos e comunicação devido a grande quantidade de pessoas envolvidas.

O termo projeto dentro do setor de edificação da construção civil pode ter sentido ambíguo, devido sua complexidade envolvendo diversas disciplinas, entretanto de forma elementar ele refere-se diretamente a uma edificação, ou seja, um empreendimento com suas particularidades e objetivos únicos, onde sua concepção, desenvolvimento e finalização transcorre através de técnicas, métodos e processos englobando diversos projetos de outras especialidades como arquitetônico, estrutural, hidráulico entre vários outros, resultando em documentos que orientam a construção da edificação.

Limmer (2012, p. 9) conceitua projeto, como um "empreendimento singular, com objetivos bem definidos, a ser materializado segundo um plano preestabelecido e dentro de condições de prazo, custo, qualidade e risco previamente definidas". Segundo Sousa et al (2009 p. 337) apud Fabricio (2002) o projeto de edificação caracteriza-se como um conjunto de informações necessárias, que subsidiem o desenvolvimento e produção de um empreendimento através da centralização de diversos projetos especialistas.

Oliveira e Melhado (2006) caracterizam o projeto dentro do setor de edificação da construção como fator integrante no processo de construção, definido por Melhado (1994), como atividade de construir. Devido processo metodológico deve ser responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e a transmissão de suas particularidades e demais características intrínsecas a construção, subsidiando informações essências aos processos operacionais durante todo seu ciclo de vida. Conforme os autores a utilização de métodos e técnicas no processamento de informações denotam uma característica conhecida por "processo de projeto".

O processo de desenvolvimento de um projeto é derivado de diversas informações e especialidades, como arquitetônico, estrutural, elétrico, hidráulico entre outros, onde cada especialidade visa solucionar um problema especifico de forma crescente em cada etapa do seu desenvolvimento conforme Fabricio, Baia e Melhado (1998). De fato devidas etapas

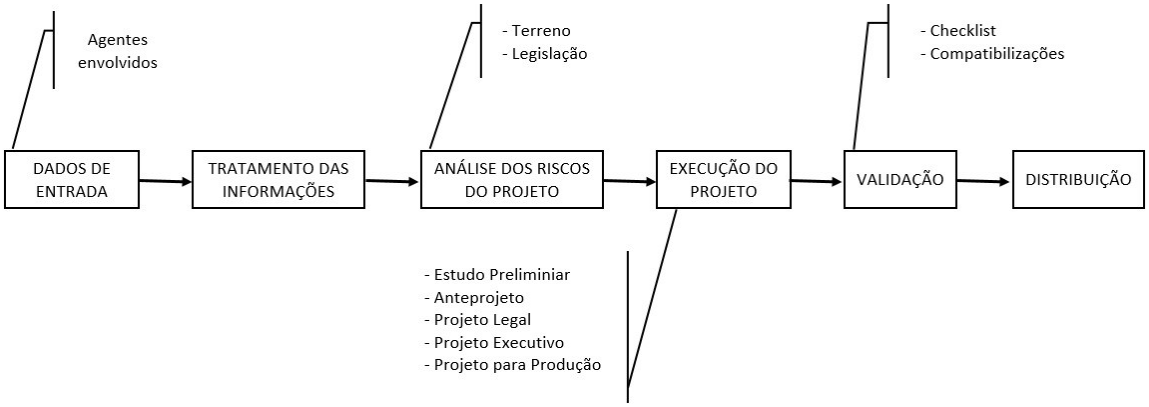
preconizam a organização e coordenação das informações envolvidas em todo o ciclo de vida de um projeto.

Para Limmer (2012), o ciclo de vida básico de um projeto desenvolvido no setor de edificação na construção civil é composto de quatros estágios sendo eles a concepção, planejamento, execução e finalização, paralelamente cada etapa possui atividades pertinentes a sua disciplina desenvolvida. De forma análoga para Silva e Souza (2003), o projeto em seu processo de análise e síntese, deve ser respaldado na gestão da qualidade através de métodos explícitos e transmissíveis através de quatro funções sendo elas:

- Concepção de projeto;
- Solução de projeto;
- Processamento de desenvolvimento do projeto;
- Apresentação do projeto.

Para Oliveira e Melhado (2006), o processo de projeto de uma edificação segue um relacionamento cronológico de etapas conforme figura 2, culminando na consolidação das disciplinas envolvidas em seu desenvolvimento, de forma que deve ser dado ênfase na coordenação das informações captadas entre seus diversos agentes participantes e processos envolvidos, resultando na melhora de sua comunicação e distribuição.

Figura 2 - Fluxo de trabalho do processo de projeto



Fonte: Adaptado de Oliveira e Melhado (2006, p.11)

A tangibilidade do processo de projeto de construção civil, inicia-se durante a fase de execução do projeto, onde ocorre primordialmente a captação e processamento das informações coletadas durante um estudo preliminar, resultando em projetos de diversas especialidades como arquitetônico, estrutural, hidráulico, elétrico entre outros, que devem ser

consolidados e compatibilizados de forma a sintetizar a comunicação do processo através de representações gráficas e documentais, no intuito de propiciar facilidades durante a execução da edificação atendendo as condições básicas pré-definidas para custo, prazo, qualidade entre outros objetivos traçados.

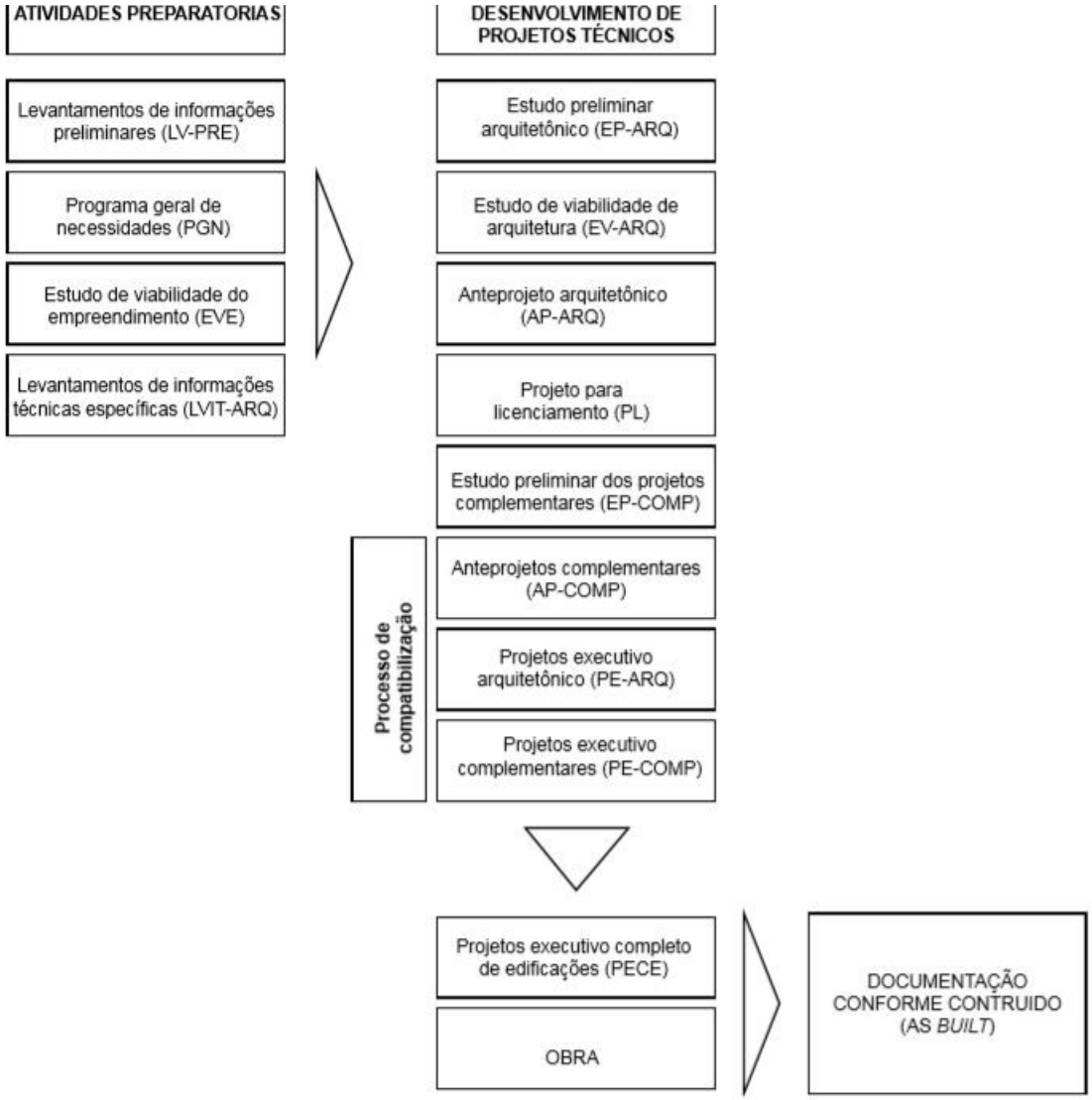
É durante esta fase de compactação das informações, um dos momentos mais críticos na gestão do projeto, devido à complexidade envolvendo a integração das equipes multidisciplinares, no intuito de elaborar e sintetizar as soluções independentes, as consolidando de maneira integra, objetivando uma perfeita sinergia entre os agentes participantes. Diversos autores como Melhado (1994), Fontenelle (2002), Silva e Novaes (2008) e Campos (2011), determinada fase de execução é conhecida por "processo de projeto", consequentemente impactando diretamente na qualidade final do produto.

2.2 FASES DE EXECUÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO

O processo de projeto segue uma sequência cronológica interligando as variadas etapas e especialidades envolvidas durante seu desenvolvimento, entretanto conforme Fabricio, Baía e Melhado (1998), é procedido através de uma relação hierárquica entre as diversas disciplinas, verificando-se que o projeto arquitetônico é o responsável pela orientação a ser seguida durante este processo, desta forma a etapa inicial do projeto de edificações, possui ênfase em seu desenvolvimento, a disciplina de arquitetura.

A NBR 16636-2 preconiza que através de um sequencia organizada e crescente de captação de informações e desenvolvimento de soluções, o processo de projeto possui uma abordagem centralizada, no projeto arquitetônico, seguido pelos projetos estruturais e complementares, conforme figura 3.

Figura 3 - Fases projeto NBR 16363-2



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16636-2: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos.

Embora a norma preconize de forma categórica o sequenciamento das etapas envolvidas no processo de projeto, diversos autores realizam a sintetização destas etapas facilitando o seu desenvolvimento. Conforme Silva e Novaes (2008) as etapas envolvidas na execução do processo de projeto, de forma consolidada na literatura bibliográfica, segue quatro estágios básicos distintos para seu avanço, conhecidos como:

a. Estudo Preliminar;
b. Anteprojeto;
c. Projeto Legal;
d. Projeto Executivo.

O desenvolvimento do processo de projeto envolve assim diversos agentes participantes e etapas sequencias na sua concepção, desenvolvimento e comunicação aos envolvidos, desta forma faz-se necessário uma sintetização das etapas envolvidas definidas por Silva e Novaes (2008).

2.2.1 Estudo preliminar

Um estudo preliminar durante um projeto caracteriza a fase inicial do processo de projeto, referindo-se diretamente a coleta de informações técnicas, físicos, legais, jurídico, econômico financeiro entre outros, que impactam diretamente na adoção de soluções para o projeto. Para Silva e Souza (2003) a etapa inicial de um projeto deve cobrir todas as necessidades requeridas entre os agentes envolvidos, delineando aos objetivos do projeto, através de plano de necessidades, impactando diretamente na análise e sintetização da melhor solução.

Para Limmer (2012), o estudo preliminar a refere-se a concepção inicial do produto abrangendo de forma ampla as necessidades para execução da edificação. Durante este processo diversas verificações devem ser analisadas como estudos de viabilidade técnica, financeira e programa de necessidades, tendo em vista que estas informações são cruciais durante a evolução dos trabalhos. Segundo o autor, uma sucinta estimativa de custos e prazos deve ser estabelecida para análise preliminar e sequencia do projeto.

2.2.2 Anteprojeto

A etapa denominada de anteprojeto, desempenha papel importante durante o processo de projeto, realizando o processamento das informações coletadas durante a fase de estudo preliminar, resultando na convergência destes dados em soluções a serem analisadas e legitimadas perante aos envolvidos. Para Silva e Souza (2003), o anteprojeto implementa a consolidação das informações reunidas em estudo preliminar, conferindo forma as soluções encontradas entre as diversas disciplinas, resultando de forma sintetizada em um conjunto de documentos técnicos através de representações gráficas e documentais, permitindo uma evolução nos processos de planejamento, estimativas de custo e qualidade do produto final.

De forma análoga, conforme Melhado (1994) esta etapa é orientada a concepção e a representação dos dados coletados durante a fase de estudo preliminar, de forma técnica e resumida, fornecendo o detalhamento da edificação assim como seus elementos, de maneira a

permitir que referidas informações sejam capazes de prever avaliações na elaboração de estimativas de custos e prazos.

2.2.3 Projeto legal / Projeto Básico

O projeto legal, ora as vezes denominado projeto básico tem o intuito de regularizar perante aos órgãos públicos, sua viabilidade técnica, assim como garantir padrões mínimos de exigência determinados pela administração pública e normativas técnicas, outorgando responsabilidade aos responsáveis técnicos pelo seu desenvolvimento e execução. O projeto básico tem caráter regulatório, devendo sempre estar alinhado aos códigos e requisitos básicos delimitados através de administrações públicas, órgãos regulatórios assim como manter-se alinhado as normativas existente para o desenvolvimento do projeto conforme Silva e Souza (2003).

Segundo a NBR 13531-2 (1995) atualizada para a NBR 16636-2 (2017) como projeto legal, ela preconiza que esta etapa deve contemplar a representação das informações técnicas necessárias e devidas para sua aprovação conforme os tramites técnicos, jurídicos e legais através de entidade competente, sendo esta etapa de fundamental importância na obtenção da documentação básica para operação da edificação.

2.2.4 Projeto executivo

O detalhamento dos elementos construtivos e inerentes a edificação, são itens pertencentes ao projeto executivo, que deve de forma detalhada e busca representar graficamente através de plantas baixas, cortes e outros elementos gráficos, assim como garantir a qualidade e operação da edificação através de manuais e cadernos de especificações. Segundo Silva e Souza (2003) os responsáveis pelo desenvolvimento de cada disciplina durante esta fase realizam seu trabalho de forma independente, no intuito de representar da melhor forma possível as interfaces técnicas pertencentes ao seu projeto, no entanto com a independência de cada disciplina no seu desenvolvimento devem-se criar processos de modo a facilitar e garantir a intercomunicação entre os envolvidos.

Segundo a NBR 16636-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), o projeto executivo é definido como projeto completo de edificação contendo todas as informações características técnicas relevantes ao projeto, como métodos construtivos e especificações técnicas. Como resultado desta etapa é gerado um conjunto de

documentos totalmente compatibilizados incluindo representações gráficas, memoriais técnicos, memorias de cálculo e demais informações técnicas essenciais a fase de execução e operação da edificação.

2.3 COMPONENTES DO PROJETO

Devido à complexidade, quantidade de informações e componentes pertencentes ao projeto durante o seu desenvolvimento, seria inviável um referencial bibliográfico completo de todos os processos envolvidos, sendo assim conforme delimitação desta pesquisa serão introduzidos alguns componentes que denotem importância na execução deste trabalho.

2.3.1 Componentes gráficos

De acordo Cattani (2006) a representação gráfica através do relacionamento com o desenho técnico tem o papel fundamental através de suas informações gráficas e textuais, comunicados ao projeto de modo que facilite a identificação visual de características espaciais e volumétricas inseridas em um desenho bidimensional.

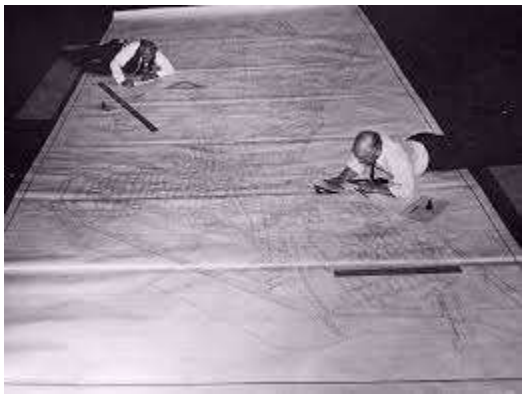
Segundo a NBR 16636-2 (2017), durante o desenvolvimento de um projeto de edificação, decorre a necessidade de elaboração de componentes gráficos denominados desenhos em plantas, sendo estes representados através de:

- Planta geral de implantação;
- Planta de diretrizes de terraplanagem;
- Plantas individualizadas de cada pavimento;
- Plantas da cobertura;
- Plantas de cortes;
- Plantas de elevações;
- Plantas de detalhamento.

Como o objetivo de orientar as representações gráficas necessárias a elaboração das plantas durante o processo de projeto, diversas normas conduzem de forma objetiva e clara o processo de codificação, por consequência esta padronização facilita o entendimento e interpretação entre os agentes participantes envolvidos no projeto, entretanto nenhuma normativa preconiza a forma ou ferramenta a ser utilizada no seu desenvolvimento.

O processo de representação gráfica sofreu variadas transformações, com o decorrer do tempo. Segundo Gieseck et al. (2008), os modelos, as representações gráficas e os seus esboços eram confeccionados primordialmente através de trabalho manual, conforme figura 4, sendo assim os desenhos eram processados a mão, com instrumentos específicos utilizados para sua elaboração, demandando assim enorme tempo e esforço para sua reprodução.

Figura 4 - Elaboração de representação gráfica manual de projeto



Fonte: ENGENHARIA 360. Disponível em: https://engenharia360.com/o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-bim/

Com o advento do computador e a evolução da computação gráfica, uma nova forma de representação surgiu, realizando o processo de forma muito mais eficiente e rápida. O sistema CAD (Computer-aided Design) foi introduzido de forma comercial ao mercado no ano de 1964 e desde então representa uma grande parcela dos usuários e projetistas que utilizam suas ferramentas para representação gráfica. Um dos softwares mais difundidos dentro da construção civil e seus setores é o software AutoCAD, atualmente em sua versão 2020, é desenvolvido pela empresa Autodesk® que acompanha a evolução do setor constantemente, entretanto existem hoje no mercado uma gama enorme de outros softwares específicos para a representação gráfica de projetos.

2.3.2 Componentes documentais

Os componentes documentais relativos ao projeto da edificação, segundo a NBR 16636-2 (2017), podem ser produzidos em qualquer fase do projeto no intuito de auxiliar o seu desenvolvimento, podendo eles ser:

- Memoriais descritivos;
- Relatórios;
- Listagens;

- Planilhas e tabelas;
- Fluxogramas e cronogramas.

Entretanto, a norma vigente brasileira especifica somente a necessidade de realização dos memoriais descritivos do projeto arquitetônico, assim como memorial descritivo dos elementos de edificação e componentes construtivos, denominado de caderno de especificação contendo todos os detalhes essências a execução e operação da edificação, respeitando as normas de qualidade NBR 15575 e suas definições.

Segundo as definições normatizadas, planilhas como orçamentação, relativizando o custo envolvido na edificação e cronograma físico relacionando o tempo, não são necessárias para a documentação do projeto, todavia é de extrema importância conforme vários autores e bibliografia existente sua elaboração para controle, eficiência e desempenho produtivo e qualitativo no desenvolvimento do projeto.

2.3.3 Levantamento de quantitativos

Dentro de um contexto global no desenvolvimento de um projeto, o custo é um dos fatores primordiais para o seu sucesso, tal aspecto demonstra de forma clara uma atividade financeira para todos os agentes envolvidos, por consequência deve-se desempenhar papel de extrema importância, objetivando suas metas desenvolvidas conforme Matos (2006). Sua influência é bastante relevante durante os processos de licitação, pois a determinação dos custos envolvidos na execução da edificação é fator-chave para o seu êxito, tornando-se assim uma das áreas mais críticas dentro da construção civil.

Através de processos de orçamentação é realizado a determinação dos custos envolvidos na execução do projeto, ocorrendo de formas e técnicas variadas buscando sempre uma estimativa dos custos o mais preciso possível. Para Matos (2006) a estimativa segue um princípio de exercício de previsão, pois um orçamento não se converge em um número exato, porém deve retratar seu custo de forma precisa.

Segundo Limmer (2012) o processo de orçamentação busca a determinação dos gastos para execução da edificação através da quantificação dos itens necessários envolvidos, sendo estes quantificados através dos projetos desenvolvidos, onde quanto maior o nível de detalhamento do projeto menor será o risco envolvido em seu processo de quantificação. Segundo o PMBOK (2013) a orçamentação é definida como um processo dentro do

gerenciamento de custos que objetiva o planejar, estimar, orçar e controlar os custos de modo a satisfazer os objetivos traçados.

O processo de quantificação pode ser traduzido como o levantamento das quantidades de todos os elementos básicos essenciais e necessários para a construção da edificação, através de uma precisão razoável, através da leitura dos projetos e especificações desenvolvidos segundo Limmer (2012, p. 86). Para Matos (2006, p.22), diversos fatores influenciam o custo dentro do um projeto de edificação, porem o processo de orçamentação e suas técnicas de quantificação influenciam diretamente, impactando negativamente no planejamento executado, sendo assim requer muita atenção na leitura das informações assim como habilidades técnicas para seu desenvolvimento.

Guerretta e Santos (2015) denotam que apesar de ser um processo altamente relevante durante o desenvolvimento do projeto, suas falhas ocorrem frequentemente, muito disso devido ao seu processo ser totalmente manual. Para Tisaka (2006) diversos são os fatores que resultam em falhas, como falta de atenção as normas técnicas vigentes, negligência, erros de cálculos e detalhamento de projeto, assim como a necessidade de trabalho manual no processo de orçamentação, sendo assim necessário uma melhoria nos processos e técnicas de orçamentação.

2.3.4 Projeto compatibilizado

O projeto de edificação vem tornando-se com o passar dos anos, um objeto de grande complexidade e quantidade de informações relacionadas para seu desenvolvimento, dessa forma o desmembramento do projeto em diversas equipes, facilita o gerenciamento dos recursos humanos envolvidos e das atividades a serem executadas, por outro lado impacta na necessidade de um eficiente meio de comunicação entre os agentes participantes. Para Oliveira e Melhado (2006) a independência e falta de comunicação no desenvolvimento das soluções adotadas através dos projetistas resulta em uma serie de incompatibilidades comprometendo a qualidade, resultando em grandes perdas de materiais e produtividade.

Segundo Cruz (2011) a falta de comunicação entre os envolvidos acarreta em diversos problemas evidenciados como a tomada de decisões de forma indevida, indução a erros ocasionando retrabalho, custos mais onerosos para finalização do projeto, falha na execução do planejamento decorrido pela extrapolação dos prazos, custos, impactando diretamente na qualidade do produto final. Devido aos variados problemas recorrentes no desenvolvimento de projetos de edificações, o setor da construção civil necessita de um inevitável aperfeiçoamento

no projeto de compatibilização, objetivando a eficiência na interação entre projeto e execução. (Souza et al, 1995).

A adoção de inovações relacionados ao processo produtivo desempenha papel fundamental no desenvolvimento de projetos com maior qualidade, influenciando diretamente desta maneira na eficiência e desempenho de uma edificação, possibilitando assim redução nos custos envolvidos segundo Oliveira e Melhado (2006).

A compatibilização de projetos ou engenharia simultânea é uma das ferramentas que o setor adotou para demonstrar eficiência e produtividade para gerenciar a coordenação entre as diversas equipes participantes do projeto, minimizando assim os impactos e resultados negativos decorridos da falha de comunicação. Para Callegari (2007), o resultado oferecido pela compatibilização dos projetos busca obter o controle da qualidade planejada a fase do processo de projeto, tornando-se imprescindível durante uma produção de forma controlada. Outra face deste processo, busca a detecção de falhas de interferências entre os diversos projetos desenvolvidos, tendo por consequência minimizar os erros envolvidos.

O processo de compatibilização tradicionalmente difundido, converge na sobreposição dos diversos projetos desenvolvidos, intencionando a busca por interferências que possam ocorrer durante a fase de execução do projeto, consolidando assim de maneira integra as diversas disciplinas atuantes no processo de projeto. Melhado (2005) relaciona o processo a um “pente fino” que inspeciona possíveis interferências na concepção das soluções desenvolvidas em cada disciplina durante o processo de projeto, através da técnica de sobreposição das representações gráficas, possibilitando a antecipação na resolução dos problemas antes de sua execução.

Devido processo, segue métodos diferentes conforma a tecnologia aplicado ao processo, entretanto conforme verifica-se na bibliografia existente duas maneiras são amplamente utilizadas e difundidas atualmente, sendo elas a execução manual de sobreposição dos diversos projetos e a sobreposição manual dos projetos porém com auxílio de softwares específicos para representação gráfica para os projetos conforme Monteiro et al. (2017).

A quantidade de informação contida dentro de um projeto demonstra a dificuldade encontrada no processo de compatibilização e atenção que o profissional deve requerer durante sua execução. Diversos autores como Melhado (2005), Monteiro et al. (2017) e Cruz (2011) referenciam estes atributos sendo essenciais para execução deste processo, contudo diversos são os problemas encontrados durante a fase de execução do projeto. Em síntese o processo minimiza os danos ocasionados pela falta de compatibilização, entretanto a falta de eficiência demonstra a necessidade de inovação referente as técnicas utilizadas.

2.4 BUILDING INFORMATION MODELING

A representação gráfica dos projetos envolvidos no desenvolvimento de edificações, sempre esteve vinculada, a um sistema gráfico CAD, desde o advento de computadores na utilização do sistema de representação CAD, entretanto os erros decorridos da falha na concepção dos projetos, má interpretação visual, quantificação, detecção de interferências demonstram que este sistema está tornando-se obsoleto segundo Bonfim, Lisboa e Matos (2016). A literatura acerca do assunto quantifica a enormidade de erros decorrentes da utilização do sistema para o desenvolvimento de projetos, no entanto seu emprego ainda é muito difundido nos processos atuais. Eastman (2011) aponta que parte dos projetos envolvendo a compatibilização ou a detecção de interferência são desenvolvidos manualmente por intermédio da tecnologia CAD 2D.

A inovação utilizada para a evolução do setor de desenvolvimento de projetos de edificações, busca a resolução dos problemas evidenciados, de forma a minimiza-los ou até mesmo extingui-los, de maneiras mais eficientes e produtivas, sendo assim o desenvolvimento de novas formas de projetar encontram no BIM, uma metodologia extremamente eficiente no desenvolvimento de projetos da indústria da construção civil e seus processos integrados e colaborativos, conforme figura 5. Para Santos et al (2009) a eficiência vinculada ao BIM, é fator-chave para um planejamento de sucesso, consequentemente reduzindo tempo e custo em sua execução, propiciando maior qualidade ao produto entregue.

Para Campestrini et al. (2015) somente a evolução tecnológica relacionada a forma de modelar, não é suficiente para atender aos objetivos demandados pela cadeia da construção civil, sendo assim novos moldes gerenciais para o processo de projeto devem ser elaborados, objetivando a otimização do processo como um todo, sendo assim inserido neste contexto Kassem e Succar (2016) apontam o BIM como sinônimo de expansão e inovação dentro da indústria da construção civil.

Figura 5 - Fluxo de operação projeto BIM

Fonte: HABITISSIMO – Disponível em: https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/tecnologia-bim

O fator-chave no sucesso obtido em um projeto da construção está relacionado intrinsicamente as decisões executadas durante a fase de elaboração do mesmo, de maneira semelhante ao verificado em diversas outras industrias conforme Melhado (1994), sendo este fator fundamental para a qualidade do projeto. Para Bonfim, Lisboa e Matos (2016) esta etapa é primordial para o sucesso de um projeto durante a sua execução, de forma que o BIM é responsável pela minimização dos erros e otimização de todos os processos envolvidos durante o ciclo de vida do projeto, o considerando assim caminho para uma nova era dentro da construção civil.

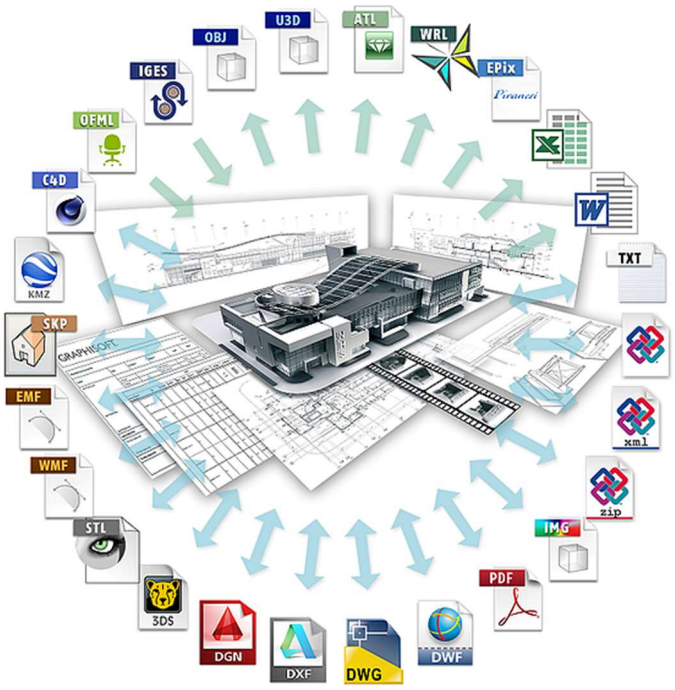
Segundo Azhar (2011, p. 242-243), o BIM representa um novo paradigma, simbolizando um dos mais promissores desenvolvimentos para a indústria AEC, auxiliando a todos os envolvidos no projeto a visualização do modelo virtualmente através de seu modelo integrado, possibilitando sua simulação antes mesmo de sua execução, entretanto o autor elenca outras facilidades que o BIM proporciona como:

- Visualização 3D;
- Fabricação dos modelos;
- Revisão de códigos;
- Estimativas de custo;
- Sequenciamento da construção;
- Detecção de interferências e conflitos;
- Análise forense;

- Gerenciamento das instalações.

Conforme figura 6, o eixo central da metodologia BIM é seu modelo virtual integrado completamente repleto de informações, uma vez que estas ficam dispostas de maneira centralizada facilitando o acesso ao projeto a todos os envolvidos independentemente da localização e formato em que se encontram, conforme Miriam et al (2010), o potencial desta ferramenta vai de encontro a real necessidade que a indústria da construção civil demanda, deste modo a informação desempenha papel fundamental dentro da metodologia.

Figura 6 - Modelo centralizado BIM



Fonte: BIM NA PRATICA. Disponível em: https://bimnapratica.com/blog/interoperabilidade-em-bim

A informação inserida neste contexto, demonstra que este fator é de extrema importância para o funcionamento da metodologia BIM, entretanto por tratar-se de uma metodologia envolvendo processos altamente dependentes de tecnologia e máquinas para seu desenvolvimento, a interoperabilidade entre os diversos softwares e agentes deve estar completamente resolvida no intuito de atender as novas demandas exigidas através do BIM. Para Arcari et al. (2015) a grande quantidade de informações pertinentes no desenvolvimento de projetos da construção, evidencia a necessidade de sistemas de interação e comunicação padronizados e eficientes.

De acordo com Andrade e Ruschel (2009), o BIM parte do princípio e definição de que a colaboração e a interoperabilidade são partes fundamentais no desenvolvimento de seus modelos de dados, através de softwares de modelagem BIM, por consequência o intercâmbio destas informações deve ocorrer de forma satisfatória e integra, através de um sistema que garanta confiabilidade em suas trocas. Para Miriam et al. (2010) o principal instrumento e padrão internacional mais difundido e aceito é o IFC (Industry Foundation Classes).

Os benefícios e funcionalidades de um modelo BIM, para o setor da construção civil, transcendem a um outro nível de desenvolvimento de projetos de edificações, minimizando erros que por repetidas vezes acontecem impactando no resultado do projeto, tanto quanto aumentando a eficiência em diversos aspectos e processos. O processo de coordenação e compatibilização de equipes interdisciplinares através de ferramentas BIM converge em resultados eficazes se comparados aos processos tradicionais e manuais, onde a automatização deste processo reduz o fator tempo e custo envolvido no planejamento do projeto.

A tecnologia vem moldando a forma como o mundo se relaciona com o trabalho, seja ela auxiliando no desempenho da produtividade ou eficiência dos processos envolvidos no seu desenvolvimento, por consequência a inovação resulta na adoção de novos padrões de fluxo de trabalho. A indústria da construção por décadas é reconhecida pela sua lentidão na adoção de novas tecnologias, freando assim o desenvolvimento do setor que se encontra estagnado conforme Bock (2015).

A indústria da construção civil, não consegue acompanhar o ritmo de desenvolvimento evolutivo que a tecnologia da informação desenvolve para toda a cadeia da indústria AEC, o exemplo clássico deste baixo desempenho encontra-se dentro da metodologia BIM e suas ferramentas utilizadas para a concepção, execução, simulação e operação no desenvolvimento de projetos de edificações.

O sistema de representação gráfica CAD, após seu desenvolvimento na década de 60 tornou-se um padrão mundialmente utilizado, entretanto somente com a evolução dos computadores que sua adoção foi compreendida e difundida pelo mundo, por consequência a inovação que esta tecnologia trouxe, garantindo melhora na qualidade e eficiência no desenvolvimento de projetos conforme Costa, Ribeiro e Figueiredo (2015, p. 11-12). Para Delatorre e Santos (2014) atualmente o processo de projeto de edificações é basicamente focada em ferramentas do sistema CAD, contudo é necessário lançar mão novamente da inovação na adoção do BIM, possibilitando projetos mais eficientes.

Conforme Menezes (2011) as primeiras noções e definições do BIM como conhecemos hoje remonta a década de 70, quando o professor norte-americano Charles Eastman, definiu algum de seus conceitos no extinto jornal AIA Journal. Nos anos seguintes foram desenvolvidas pesquisas similares ao do professor Chuck Eastman, sendo assim os conceitos definidos para a metodologia BIM podem ser datados de mais de 40 anos, entretanto somente no ano de 1986 o termo BIM foi documentado de forma como o conhecemos hoje com seus processos, métodos, tecnologias envolvidas e seu banco de dados centralizado.

No final da década de 80, através do professor e arquiteto Jerry Laiserin, foi dado origem a organização IAI (International Alliance for Interoperability), que futuramente em 2008 foi renomeada para BuildingSMART, onde foram desenvolvidas pesquisas na área de interoperabilidade, sendo este um passo enorme na difusão da metodologia e tecnologias empregadas no seu desenvolvimento. A partir de então diversas empresas desenvolveram softwares e tecnologias BIM, como em 1987 o lançamento do ArchiCAD, e o software Solibri em 1999, ambos desenvolvidos pela empresa Graphisoft segundo Miriam et al. (2010, p. 105). Atualmente segundo a BuildingSMART (2020) responsável pelo padrão IFC de interoperabilização entre as tecnologias envolvidas, o número de softwares BIM ultrapassa a marca de 200.

Conforme Machado, Ruschel e Scheer (2016), o Brasil evidencia certa evolução com a inovação que a metodologia BIM propaga ao campo da construção civil, pelo intermédio de diversas pesquisas desenvolvidas através de pesquisadores como Eduardo Santos Toledo, Regina Coeli Ruschel, Sérgio Scheer, Max Lira Veras Xavier Andrade, Arivaldo Leão de Amorim, Sergio Leal Ferreira, ao passo que normativas como a coletânea de normas técnicas ABNT NBR 15965 – Sistema de classificação da informação da construção, normatizando a classificação da informação, iniciativas como a criação da Comissão de Estudos Especial em Modelagem de Informação da Construção em 2009 conforme Catelani e Santos (2016, pg. 59), assim como através do decreto número 9.377 de 17 de maio de 2018 instituído pelo governo federal decretando a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling demonstram a importância da evolução e necessidade de mudança do sistema CAD para o sistema BIM.

A metodologia BIM vem sendo desenvolvida desde a década de 70, entretanto, seu conceito ainda divide opiniões, devido à grande quantidade de definições aplicados em seu desenvolvimento. Conceitos envolvendo modelagem da informação, qualidade, representação gráfica virtual, modelagem de dados do produto entre outros evidenciam a importância desta inovação ao setor da construção civil e outros.

O conceito clássico definido para o BIM por Eastman (2011 pg. 16) remete a um novo paradigma na tecnologia para desenvolvimento de projetos da construção civil, de forma associada a diversos outros processos envolvidos durante a produção, comunicação e análise dos modelos da construção, representados de uma forma virtual, onde por consequência estes modelos carregam junto consigo as informações relacionados aos objetos e detalhes da construção assim como suas representações gráficas paramétricas, centralizado através de um banco de dados de informações. Diante disso a centralização e modelagem do produto elevam o desenvolvimento de projetos da construção civil a um novo patamar trazendo benefícios enormes a todos os setores da indústria AEC.

Para o BIMDICTIONARY (2020) o BIM é o conjunto de tecnologias, processos e politicas colaborando para que os diversos stakeholders de forma colaborativa projetem, construam e operem uma instalação em um ambiente virtual, por consequência de sua difusão e adoção mundial, seu crescimento durante o passar dos anos, convergem o termo para expressão de inovação digital dentro da indústria da construção, evidenciando-se desta maneira que referida tecnologia deixou de ser apenas modismo entre seus usuários para ser a parte central fundamental, desempenhando papel de orientação aos novos caminhos na busca pela eficiência e produtividade do setor.

Para Takim, Mohd e Nawawi (2013 pg. 24) o termo BIM relaciona-se ao conceito de qualidade de vida, onde o mesmo só é percebido através da inevitável adoção de tecnologias, para o autor a metodologia denota uma nova ferramenta tecnológica que desempenha um papel integrador na operacionalização da construção, ao mesmo passo desempenha um papel que demonstra eficácia na melhora da satisfação do cliente através de custo, tempo, segurança, qualidade e funcionalidade da construção do projeto, através de um ambiente tecnológico virtual e altamente colaborativo.

O conceito definido por Delatorre e Santos (2014) é caracterizado através da mudança, adequação da cultura e nos processos de projeto, através do seu desenvolvimento a partir de modelos digitais integrados de construção, incluindo suas informações centralizadas neste modelo, que por consequência permitem de forma transparente o intercâmbio destas informações entre todos os agentes participantes durante todo o ciclo de vida do projeto.

Outra definição importante que encontra-se na literatura é a conceituação da tecnologia BIM, com ênfase na informação, que segundo Miriam et al (2010) este é eixo central para que o desenvolvimento de modelos de dados BIM sejam elaborados, através de uma plataforma digital de forma colaborativa e totalmente integrada, de forma que possibilite o intercâmbio das diversas informações dentro de um projeto da construção, através da

interoperabilidade entre os softwares e seus agentes, garantindo desta forma condição mínima para que se estabeleça um modelo BIM.

A conceituação do termo Building Information Modeling traduzido ao português para Modelagem da Informação da Construção encontra diversos aspectos relevantes para sua conceituação e definição, entretanto todas elas convergem de forma clara a um modelo virtual que possibilita a sua concepção e desenvolvimento anterior a fase de execução e operação e recuperação em sua fase posterior a execução, permitindo desta forma uma análise criteriosa do modelo assim como a realização de simulações sem que produza desperdícios e perdas. Por tratar-se de um modelo virtual a ênfase a informação contida no modelo demonstra todo o ganho de produtividade e eficiência propiciado pela centralização dos dados em um modelo único a ser desenvolvido durante todo a sua fase de concepção, desenvolvimento, execução, operação e renovação.

A metodologia BIM por definição desenvolve através de representações digitais um modelo completo e integrado da construção, viabilizando desta maneira simular todos os cenários possíveis durante sua execução e operação, potencializando de maneira eficiente a qualidade do produto final, assim como minimiza os erros passiveis de comunicação entre os envolvidos, entretanto os benefícios apresentados pelo BIM no desenvolvimento dos projetos da indústria AEC, transcendem a níveis não alcançáveis perante os modelos tradicionais de execução do processo de projeto através de sistemas CAD assim como processos de planejamento e orçamentação.

Para Azhar (2011, p. 243) a indústria AEC vem buscando novas técnicas e métodos que de forma eficientes reduzam os custos nos processos de orçamento e tempo estimado em cronograma assim como aumento da produtividade e qualidade no seu desenvolvimento, sendo que somente o BIM conseguiria de forma sustentável alcançar estes objetivos. Para o autor diversos benefícios são agregados com a utilização da metodologia BIM como:

- Processos mais efetivos e rápidos;
- Design mais arrojado;
- Controle rigoroso dos custos;
- Maior qualidade durante a execução;
- Desenvolvimento automatizado;
- Informações mais precisas durante o ciclo de vida da edificação.

Para Costa, Ribeiro e Figueiredo (2015) a forma de representação visual no formato 3D representa o avanço relacionado ao processo de projeto, pois automatiza os processos

envolvidos na realização de cortes, vistas entre outros, agilizando o processo que através do sistema CAD representa certa quantidade de tempo na sua execução. Segundo ainda os autores o processo realístico de modelagem, garante de forma visual aos envolvidos como será o formato da edificação, assim como todo o seu detalhamento.

Segundo Migilinskas et al. (2013) os benefícios oferecidos pela adoção da metodologia BIM, tem auxiliado o desenvolvimento de projetos da construção civil, resultando na minimização de erros durante sua execução e principalmente na redução do cronograma planejado. Conforme seu estudo de caso foi possível analisar os seguintes benefícios referentes a sua utilização:

- Redução de tempo durante a fase do processo de projeto;
- Redução no tempo na procura de interferências;
- Redução no tempo de retrabalho;
- Auxilio nos processos de coordenação do projeto.

Outro fator que demonstra os benefícios desempenhados pela utilização da metodologia refere-se à centralização da informação no processo de modelagem, pois é através da informação contida dentro do modelo a responsabilidade da assertividade nos processos fundamentais para o desenvolvimento de projetos. Conforme Miriam et al. (2010) devido à grande quantidade de informações dentro de um projeto, através desta centralização de informações em um modelo integrado é possível o controle destas informações de forma confiável durante todo o ciclo de vida de um projeto.

2.4.1 Dimensões BIM

A partir da representação gráfica de um modelo BIM, é possivel visualizar de forma realística através de seu formato digital, onde denominamos esta representação como visualização 3D, ou seja, um objeto contendo informações dimensionais que permitem a sua representação real através de 3 dimensões. A partir deste entendimento de dimensão, é possível analisar que ao inserir mais informações ao modelo BIM, é possivel de forma crescente evoluir a outros níveis dimensionais para este modelo.

Para Bonfim, Lisboa e Matos (2016) a crescente inserção de informação a um modelo BIM, pode elevar seu entendimento, o transformando em um sistema de produção contemplando 7 dimensões. Eastman et al. (2011) recorre ao termo “nD” devido a infinidade de dimensões ainda não compreendidas de um modelo BIM e suas capacidades funcionais, onde

o termo “n” representa ao nível de informações inseridas dentro deste modelo e o termo “D” representa sua dimensão, onde cada dimensão pode ser considerada de forma independente.

Para o entendimento das diversas funcionalidades de um modelo BIM, deve-se compreender a parametrização envolvida e o fator envolvido em sua dimensão, sendo elas conhecidas, como 1D (produção), 2D (documentação), 3D (espaço), 4D (tempo), 5D (custo), 6D (eficiência energética) e 7D (operação), de acordo com figura 7, em vista disso, uma breve descrição conforme Smith (2014 apud Kamardeen 2010), será apresentada para compreensão das atividades desempenhadas pelo BIM, a partir da terceira dimensão.

- 3D – Espaço: A representação visual em três dimensões só é possível através da inserção dos componentes paramétricos dimensionais dos elementos, possibilitando assim a virtualização do modelo, que é parte fundamental para elaboração das diversas dimensões existentes em um modelo BIM;
- 4D – Tempo: A adição do componente tempo, é responsável pelo processo de planejamento representado através do cronograma físico, oferecendo a possibilidade de análise e resolução dos problemas enfrentados pelo sequenciamento indevido durante a fase de pré-execução da construção;
- 5D – Custo: A inserção de informações relacionadas ao custo em um modelo BIM, possibilita a elaboração de cronogramas financeiros e estimativas de custo e quantidades de forma automatizada, proporcionando desta forma a redução de forma considerada seu processo em relação ao tempo necessário para sua execução;
- 6D – Eficiência: A inserção de informações relacionadas ao comportamento dos materiais e elementos utilizados dentro da construção, permitem ao modelo a realização de simulações para avaliação da eficiência energética do modelo, garantindo assim sustentabilidade a edificação;
- 7D – Operação: Através da inserção de informações relacionadas a operação dos elementos e detalhes dentro do modelo BIM, é possível realizar o gerenciamento das instalações durante seu ciclo de vida, proporcionando através de uma base de dados completa, toda informação pertinente necessária para a sua operação e manutenção;

A fase dimensional 1D (produção) é responsável pela idealização do produto assim como a realização dos estudos de viabilidade e documentação geral necessária para viabilização do projeto, ao passo que a dimensão 2D (documentação) é responsável pela visualização de forma documental toda representação do projeto. Segundo Kamardeen (2010), existe ainda um

componente segurança que denota a existência de uma oitava dimensão, entretanto ela ainda encontra-se em fase de estudo.

Figura 7 - Níveis BIM

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

2.4.2 Level of development

A partir da evolução do modelo BIM em diversas dimensões e funções, e devido à complexidade das informações inseridas a este modelo, evidencia-se a necessidade de organizar e classificar a quantidade de informações inseridas dentro deste modelo, possibilitando desta forma um melhor definição acerca de seu nível de maturidade. O conceito de Level Of Development traduzido para Nível de Desenvolvimento em português é responsável pela classificação e organização dos modelos através de diversos níveis, estando estes atrelados a quantidade de informação inserida dentro de um modelo BIM.

A definição mais aceita e difundida para nível de desenvolvimento, parte da organização BIMFORUM (2018), representante americana da organização BuildingSMART que em conjunto com diversas entidades como AIA (American Institute of Architects), AGC (The Associated General, Contractors of America), entre outras, desenvolvem as especificações através de seu documento Level Of Development Specifcation for Building Information Modelling, atualmente em sua última versão liberada em abril de 2019, definem como uma referência para usuários da metodologia BIM dentro da indústria da construção especificando o nível de detalhamento envolvido na modelagem de cada elemento modelado, durante os vários processos pertencentes ao desenvolvimento do projeto da edificação, garantindo desta forma confiabilidade durante seu ciclo de vida.

Para a Câmara Brasileira da Industria da Construção (2016 v. 1, p. 109), este conceito transcende o nível de especificação no desenvolvimento da modelagem da construção

para um nível contratual, pois através de sua classificação é possível detalhar o escopo de contratação utilizado como referência na gestão de contratos, possibilitando objetividade na definição da quantidade de informação inserida no modelo BIM.

No mundo inteiro diversas organizações realizam a classificação e organização das informações referentes ao nível de detalhamento da construção, porém conforme evidenciado a utilização da classificação fornecida pelo BIMOBJECT atualmente é a mais aceita e difundida, sendo que ela realiza a sua especificação através de 5 níveis de detalhamento considerados como LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350 e LOD 400. Referido documento somente especifica seus níveis de detalhamento em tempo de desenvolvimento de projeto desta forma o nível LOD 500, encontra-se fora do escopo do documento por representar a informação requisita após a execução do projeto.

No Brasil a ABDI - Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2016, v. 1, p. 27), classifica os níveis de detalhamento de forma análoga a organização americana, incluindo a classificação após a execução, conceituando seus níveis através das seguintes definições:

- LOD 100: Este nível pode ser definido como conceitual onde o elemento modelado pode ser representado de forma gráfica através de símbolos ou qualquer outra representação que denote sua existência de forma genérica, entretanto seu nível de detalhe de informações é baixo, não evoluindo ao nível 200;
- LOD 200: Representações nesta fase demonstram uma proximidade com relação a geometria do elemento, a partir de onde podem ser retiradas informações relacionadas ao tamanho, forma, orientação e localização;
- LOD 300: Os elementos deste nível representam precisão em sua geometria de forma a obter as mesmas informações inseridas durante a modelagem em LOD 200, de maneira precisa;
- LOD 350: A modelagem neste nível é referente a uma transição entre os níveis 300 e 400, contendo informações relativas aos sistemas construtivos, entretanto estas informações entre interface dos sistemas encontram-se somente em nível superior;
- LOD 400: A modelagem referente a este nível representa o estágio de fabricação do modelo contendo todas as informações necessárias a fase de execução, como quantitativos, detalhamentos e informações de instalação;

- LOD 500: O modelo desenvolvido neste nível representa o “AS-BUILT” da edificação, sendo que somente após a execução da edificação o mesmo deve ser desenvolvido com informações exatas do modelo real construído;

Desta forma classifica-se todo o processo evolutivo relacionado a inserção de informação dentro do modelo BIM durante o ciclo de vida da edificação. Esta classificação pode parecer confusa, por isto as especificações classificadas são analisadas através de documentação visual, facilitando este processo. Conforme figura 8 é possível avaliar a evolução do modelo da construção através do amadurecimento evolutivo entre os níveis de detalhamento classificados pelo BIMOBJECT.

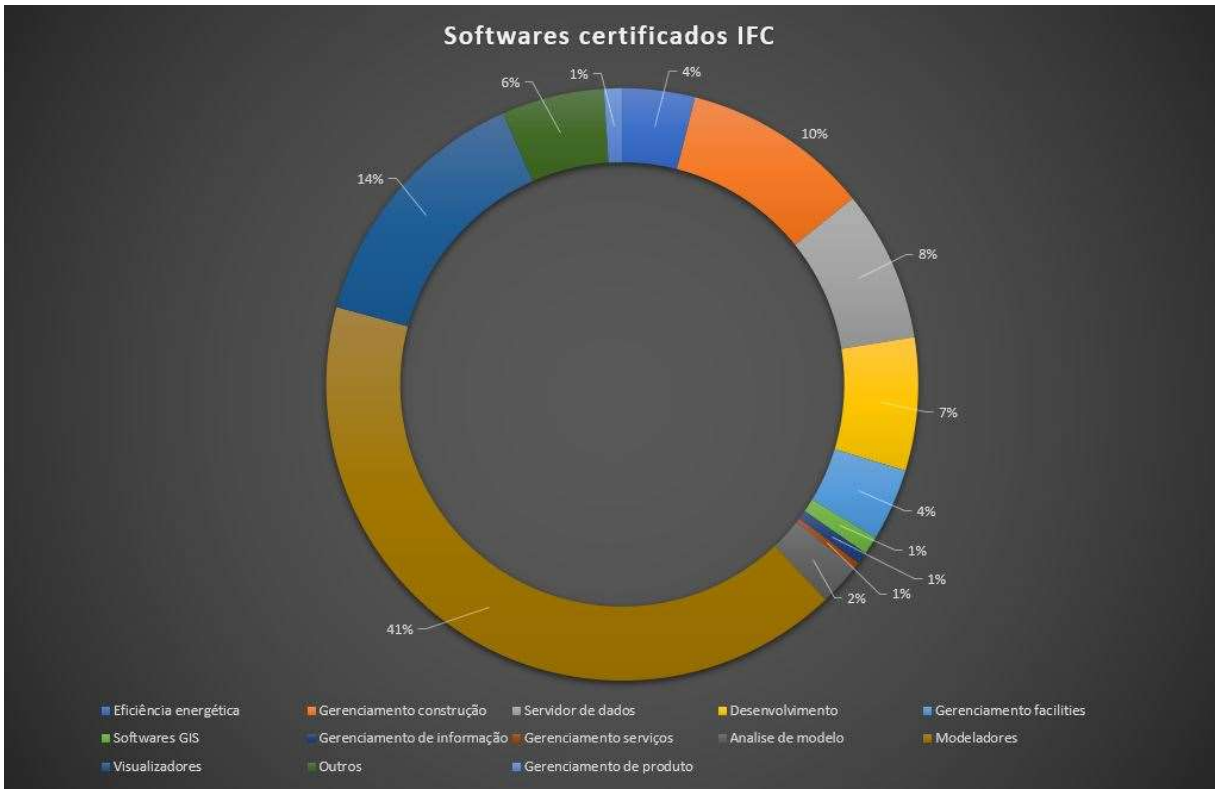
Figura 8 - Níveis de detalhamento - LOD

Fonte: Adaptado (Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial, v. 1, p. 27)

2.4.3 Ferramentas BIM

As funcionalidades presentes no desenvolvimento de projetos BIM, são evidenciadas, na disponibilidade de softwares catalogados e certificados pela organização BuildingSMART responsável pela certificação do padrão IFC para interoperação de dados entre os agentes envolvidos no desenvolvimento de modelos BIM. Segundo a organização, atualmente estão listados e certificados 219 softwares BIM, sendo estes divididos conforme o gráfico 1, o que demonstra de forma clara a quantidade de funcionalidades que a metodologia BIM oferece.

Gráfico 1 - Softwares BIM certificados IFC



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Conforme analisado na imagem verifica-se a grande quantidade de categorias para o desenvolvimento de modelos BIM. Para Eastman et al. (2011) o software é denominado plataforma BIM podendo ser empregada na utilização de diversas maneiras, porem em geral, cada área tem desenvolvido pacotes ou versões especificas para sua disciplina de domínio, onde o arquiteto utiliza plataformas para modelagem arquitetônica, o engenheiro plataformas referentes a modelos estruturais e instalações assim como o contratante pode utilizar plataformas específicas para gerar ou operar modelos de coordenação ou visualização.

2.4.3.1 ArchiCAD

O ArchiCAD é um software desenvolvido pela empresa Húngara Graphisoft apresentado pela primeira vez no ano de 1983 em uma feira em Hannover na Alemanha, para plataformas Apple Macintosh, sendo futuramente desenvolvido também para plataformas MS-

Windows introduzidas no mercado no ano de 1993 segundo Rai (2016). A partir do ano de 2007 o seu desenvolvimento passou a ser controlado pela empresa alemã Nemetschek que desenvolve softwares renomados para a construção civil na Europa conforme Eastman et al. (2011).

Sua plataforma auxilia no desenvolvimento de objetos paramétricos, conhecidos como “Smart Objects”, através de um ambiente colaborativo 2D e 3D, modelando uma construção virtual (Rai, 2016). Seu eixo central, através da linguagem GDL (Geometric Description Language), permite o desenvolvimento e parametrização de objetos paramétricos, evidenciando um dos pilares preconizados pelos modelos BIM segundo Eastman et al. (2011).

2.4.3.2 Revit

A ferramenta Revit introduzida no mercado no ano de 2002, representa a ferramenta de modelagem BIM mais utilizada entre todos os usuários, fato este que comprova a grande quantidade de bibliotecas, neste caso denominado famílias, contendo modelos prontos para serem utilizados.

Segundo a desenvolvedora Autodesk o Revit é uma ferramenta completa integrada para modelagem no desenvolvimento de projetos com BIM, possibilitando em uma única ferramenta o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, estruturais e complementares de forma rápida.

2.4.3.3 Openbuildings Designer

O software Openbuildings lançado no ano de 2018 pela empresa americana Bentley fundada em 1984, remete a anos de planejamento e desenvolvimento de softwares BIM que se iniciaram no de 2004, entretanto a base de seus softwares mantém-se o mesmo desde a década de 80 com o lançamento de sua aplicação CAD o MicroStation.

A plataforma Openbuildings está atrelada ao aperfeiçoamento de seu antecessor o software AECOsim, onde ambos foram desenvolvidos sobre a plataforma CAD MicroStation. Devido seu desenvolvimento ter sido baseado em forma de arquivo, representa menor carga em memoria devido sua escrita ser realizada diretamente no próprio arquivo, possibilitando desta forma o desenvolvimento de projetos de grande porte com extrema facilidade, conforme Eastman et al. (2011).

2.4.3.4 Navisworks

O software Navisworks, desenvolvido pela empresa Autodesk, possui diversas ferramentas implementadas de forma a auxiliar durante as fases de planejamento visual da construção, quantificação de materiais, coordenação e compatibilização de projetos envolvendo modelos BIM de diversas plataformas.

Segundo a própria desenvolvedora o software Navisworks é responsável pela análise e revisão de projetos, desta forma todos os envolvidos no desenvolvimento do projeto BIM, de forma integrada e colaborativa, durante a fase de pré-execução podem realizar suas correções minimizando assim os erros decorridos durante a elaboração do projeto. Segundo Eastman et al. (2011) uma das principais funções para o software é a capacidade de detecção de interferências ocorridas devido ao desenvolvimento multidisciplinar dos modelos BIM entre as diversas equipes envolvidas.

2.4.3.5 Solibri

Esta solução desponta como uma das precursoras no desenvolvimento e implementação de ferramentas BIM, tendo sido desenvolvido no ano de 1999 pela empresa de mesmo nome Solibri de origem Finlandesa, sendo futuramente adquirida pela empresa Nemetschek.

O software Solibri de propriedade da empresa alemã Nemetschek, possui diversas ferramentas para coordenação de modelos BIM. Segundo a empresa sua solução permite um "raio-x" oferecendo um panorama global do modelo, possibilitando a visualização 3D revelando interferências e fraquezas dos modelos interdisciplinares interoperados junto ao software.

Dentre as funcionalidades do software pode-se destacar:

- Visualização 3D;
- Gerenciamento do modelo;
- Extração de quantitativos;
- Análise de interferências;

2.5 INTEROPERABILIDADE

Durante o desenvolvimento de um projeto do setor de edificação da construção civil é visível a elaboração dos diversos projetos disciplinares envolvidos, orientados ao processo de projeto arquitetônico, sendo este responsável pela direção a ser trilhada durante as fases de concepção, desenvolvimento e execução do projeto. Esta dependência contínua das equipes disciplinares relativo ao projeto arquitetônico, expõe a indispensabilidade do gerenciamento eficiente da comunicação como peça fundamental para o sucesso e desenvolvimento do projeto.

Segundo Jacoski e Lamberts (2002) devido a grande fragmentação existente dentro da indústria da construção, o setor apresenta uma elevada dificuldade para integrar os setores, incidindo assim em um fluxo de colaboração da informação geralmente ineficiente e sem nenhuma forma de controle, impactando diretamente de forma negativa no resultado final do projeto. Para além da desintegração dos setores, a complexidade dos projetos de edificação, seus processos produtivos e colaborativos nos fluxos de intercâmbio de informações acabam por acometer claramente a qualidade do projeto e o desempenho final da edificação, conforme Fabricio e Melhado (2001).

Segundo ENAP (2015), a integração parte do pressuposto de facilitar a comunicação perante os agentes envolvidos no processo de projeto de forma a criar um canal de interligação entre estes, sendo assim é evidente que um eficiente sistema de intercâmbio de informações dentro de um processo colaborativo de desenvolvimento de projetos de edificações é parte essencial para obter eficiência e produtividade, porém conforme Melhado (1994) o processo de comunicação e intercâmbio necessário das informações vem sendo totalmente negligenciado, de forma a corroborar aos péssimos índices de desempenho que a construção civil tem conseguido. Para Miriam et al. (2010), grande parte dos problemas constatados dentro da construção civil ocorrem principalmente pelas falhas ocorridas durante os processos de comunicação e integração, evidenciando desta forma a necessidade de inovação perante estes processos.

Segundo Chapman (2004), em um estudo divulgado pela NIST (National Institute of Standards) denominado analise de custo da inadequada interoperabilidade no mercado de facilities americano, evidenciou-se que no ano de 2002, um montante total de U$ 15.8 bilhões de dólares foram desperdiçados devido a problemas com a interoperabilidade entre os diversos agentes durante todo o ciclo de vida de uma edificação, sendo que deste total, U$ 10.6 bilhões foram perdidos nas fases posteriores a construção da edificação, demonstrando assim a importância dos processos de comunicação as fases posteriores. Ainda segundo o autor, tal

mensuração da ineficiência da interoperabilidade é visto como fator importante no desenvolvimento de novas tecnologias, criando oportunidades para uma mudança.

A aplicação da metodologia BIM em um projeto de edificação implica na construção de um modelo virtual compartilhado, de forma que os agentes participantes possam analisar e desenvolver suas soluções com base neste modelo centralizado. Dentro deste contexto de integração, colaboração, comunicação entre os envolvidos durante o desenvolvimento do projeto, evidencia-se a necessidade de um eficiente sistema de intercomunicação entre as diversas equipes referentes a cada especialidade, e seus respectivos modelos virtuais.

Segundo o Bimdictionary (2018) o termo interoperabilidade refere-se a capacidade que um sistema ou mais distintos, possuem de forma a interagir e realizar a comunicação entre eles, sem perda de informações. Para Correa e Santos (2015), a interoperabilidade aborda um dos aspectos mais importantes e benéficos que o BIM proporciona através de sua adoção, a disponibilidade no intercâmbio de informações pertinentes aos modelos desenvolvidos através de softwares BIM de uma forma confiável e transparente, buscando assim desta forma solucionar um dos maiores problemas enfrentados pela indústria da construção civil.

Para Miriam et al. (2010) a interoperabilidade é condição básica para existência do BIM, em decorrência do pressuposto que durante o ciclo de vida de um projeto de edificações, diversos agentes participam do processo através do desenvolvimento de soluções relacionadas a cada especialidade, desta forma para análise dos modelos entre os integrantes do projeto é primordial que o intercâmbio entre ele ocorra de forma segura, garantindo fidedignidade durante a troca de informação.

Eastman et al (2011) define a interoperabilidade como umas das bases conceituais para a existência do BIM, segundo o autor o desenvolvimento de um projeto e construção de uma edificação é realizado através de uma atividade entre equipes, de forma que a grande quantidade de softwares BIM existentes, dificulta a adoção de uma plataforma especifica para a realização dos diversos modelos de dados, sendo assim o termo refere-se a tradução de modelos desenvolvidos de formas distintas em uma linguagem única e universal capaz de comunicar de forma integra e confiável. Ainda segundo o autor, outro contexto que denota sua definição é a de que no mínimo, este processo deve eliminar a necessidade de cópia manual da informação gerada em outra plataforma.

2.5.1 Tipos de formato de arquivos

A troca de informações entre dois softwares indubitavelmente ocorre entre dois agentes, guiados através de um padrão de comunicação seja ele desenvolvido através de empresas desenvolvedoras privadas, públicas ou em padrão aberto. De acordo com ABDI (2016, cap. 3 pag. 76), os softwares possuem três tipos de formatos de comunicação entre eles:

- Formato proprietário;
- Formato público em segmento específico;
- Formato aberto e público.

O formato proprietário possui em seu conceito o direito privado sobre sua manipulação, sendo geralmente desenvolvido pela empresa proprietária do software ou em conjunto com empresa desenvolvedora de outro software em que se necessite realizar a troca de dados, sendo assim apresenta alta robustez, consistência e qualidade no intercâmbio de informações, pois são desenvolvidos especificadamente para este único propósito.

Formatos públicos em segmentos específicos apresentam certa flexibilidade na interoperação de dados entre distintos softwares, pois apresenta um conceito aberto de dados de forma a padronizar e especificar regras características ao domínio implantado. Um dos padrões, extremamente eficientes e mundialmente reconhecidos, conforme Eastman et al. (2011) é o padrão CIS/2 utilizado dentro da indústria de construção metálica.

O formato aberto de domínio público segundo a organização OPEN DEFINITION, apresenta um amplo sentido, expressando que qualquer um pode livremente acessar, utilizar, modificar e compartilhar para qualquer propósito promovendo um bem comum, de forma a aperfeiçoar a interoperabilidade. Ainda segundo a organização algumas particularidades como formato acessível, compreensível por máquinas, não proprietário e livre de licença devem ser observados em seu desenvolvimento.

Para Eastman et al. (2011), este formato possui código aberto aos desenvolvedores o que facilita a implementação e manipulação de seus dados, entretanto requer um grande esforço para padronizar toda uma indústria e seus elementos, haja visto a grande quantidade de formatos existentes para comunicação, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Formatos de arquivos existentes

Formatos de imagem (matricial)	
JPG, GIF, TIF, BMP, PIC, PNG, RAW, TGA. RLE	Formatos matriciais variam em termos de compacidade, número de cores possíveis por pixel. Alguns comprimem com alguma perda de dados.
Formatos de imagem (matricial)	
DXF, DWG, AI, CGM, EMF, IGS, WMF, DGN	Formatos vetoriais variam em compacidade, controle de espessura e padrões de linha, cor, camadas e tipos de curvas suportadas.
Formatos de superfícies e formas 3D	
3DS, WRL, STL, IGS, SAT, DXF, DWG, OBJ, DGN, PDF(3D), XGL, DWF, U3D, IPT, PTS	Formatos de superfícies e formas 3D variam conforme os tipos de superfície e arestas representadas, se eles representam superfícies e/ou sólidos, quaisquer propriedades da forma (cor, imagem bitmap, mapa de textura) ou informação do ponto do observador.
Formatos de intercâmbio de objetos 3D	
STP, EXP, CIS/2	Formatos de modelo de dados de produtos representam a geometria de acordo com os tipos 2D ou 3D representados. Eles também carregam propriedades de objetos e relações entre objetos.
Formatos de jogos	
RWQ, X, GOF, FACT	Os formatos de arquivos de jogos variam de acordo com os tipos de superfícies, se eles possuem uma estrutura hierárquica, tipos de propriedades de materiais, parâmetros de mapas de textura e de relevo, animação e skinning.
Formatos de GIS	
SHP, SHX, DBF, DEM, NED	Formatos de Sistemas de Informação Geográfica
Formatos XML	
AecXML, Obix, AEX, bcXML, AGCxml	Esquemas XML desenvolvidos para intercâmbio de dados da construção. Eles variam conforme a informação intercambiada e os fluxos de trabalho suportados.

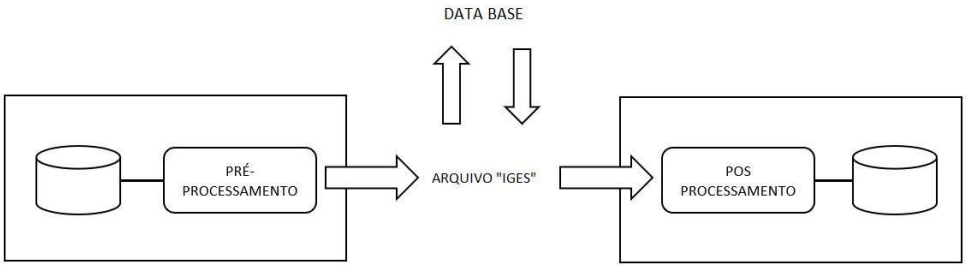
Fonte: Adaptado de Manual de BIM (2011, pag. 69)

2.5.2 Initial Graphics Exchange Specification

Um dos primeiros impulsos a serem empreendidos objetivando elucidar este entrave recorrente dentro da indústria, foi dado ao final da década de 70, ao analisar que diversos trabalhos vinham sendo executados de formas isoladas gerando um grande passivo financeiro a todos os envolvidos, as forças armadas norte americana em conjunto com a NASA e NBS (National Bureau of Standards), propuseram o desenvolvimento de um formato de arquivo neutro que atendesse as expectativas da indústria AEC de forma a possibilitar o intercâmbio de informações entre os softwares computacionais existentes, conforme Eastman et al (2011).

Segundo NBSIR 80-1978 (R) em sua versão 1.0, em Setembro de 1979 em um encontro promovido pelo Departamento de Defesa Americano na cidade de Detroit, idealizou-se a conceituação de um formato para troca de dados denominado IGES (Initial Graphics Exchange Specification), sendo que no ano de 1980 em um conjunto do departamento de defesa norte americano, NASA, NBS e conjunto com as organizações BOEING e General Electrics, acabou materializando-se em um documento oficial, sendo o primeiro passo para um eficiente fluxo de interoperabilidade. Ainda segundo o documento, o IGES efetivamente não resolvia, nem ao menos almejava resolver a todos os problemas do setor, porém era suficiente, mesmo sendo uma especificação e não um formato padronizado, a atender aos fluxos de trabalho do setor, conforme figura 9.

Figura 9 - Fluxo de intercâmbio de informações do arquivo IGES



Fonte: (adaptado do NBSIR 80-1978)

Com este esforço inicial foi possivel galgar os primeiros passos, em busca da eficiência perante a interoperabilidade entre os softwares, entretanto este formato ainda

encontrava-se em estágio embrionário, dificultando sua interpretação até mesmo perante aos desenvolvedores, por apresentar uma linguagem de comunicação complexa, conforme figura 10, restava assim compilar e aperfeiçoar uma forma padronizada única.

Figura 10 - Formato arquivo IGES

```
                                                                        S      1
1H,,1H;,4HSLOT,37H$1$DUA2:[IGESLIB.BDRAFT.B2I]SLOT.IGS;,                G      1
17HBravo3 BravoDRAFT,31HBravo3->IGES V3.002 (02-Oct-87),32,38,6,38,15,  G      2
4HSLOT,1.,1,4HINCH,8,0.08,13H871006.192927,1.E-06,6.,                   G      3
31HD. A. Harrod, Tel. 313/995-6333,24HAPPLICON - Ann Arbor, MI,4,0;     G      4
     116       1       0       1       0       0       0       0       1D     1
     116       1       5       1       0                               0D     2
     116       2       0       1       0       0       0       0       1D     3
     116       1       5       1       0                               0D     4
     100       3       0       1       0       0       0       0       1D     5
     100       1       2       1       0                               0D     6
     100       4       0       1       0       0       0       0       1D     7
     100       1       2       1       0                               0D     8
     110       5       0       1       0       0       0       0       1D     9
     110       1       3       1       0                               0D    10
     110       6       0       1       0       0       0       0       1D    11
     110       1       3       1       0                               0D    12
116,0.,0.,0.,0,0,0;                                                     1P     1
116,5.,0.,0.,0,0,0;                                                     3P     2
100,0.,0.,0.,0.,1.,0.,-1.,0,0;                                          5P     3
100,0.,5.,0.,5.,-1.,5.,1.,0,0;                                          7P     4
110,0.,-1.,0.,5.,-1.,0.,0,0;                                            9P     5
110,0.,1.,0.,5.,1.,0.,0,0;                                             11P     6
S      1G      4D     12P      6                                        T      1
```

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

2.5.3 Industry Foundation Classes

Passado mais de uma década de aperfeiçoamento e desenvolvimento de sistemas para interoperabilidade, no ano de 1993 empresas do ramo de desenvolvimento de softwares para a indústria AEC preocupadas com o gerenciamento da comunicação entre os diversos fabricantes de softwares existentes à época e seus diversos formatos de comunicação, reuniram-se encabeçados pela Autodesk em uma aliança envolvendo as 12 maiores empresas de desenvolvimento de software em um esforço conjunto para desenvolver e disseminar um sistema eficiente para interoperabilidade entre os diversos softwares que estavam sendo usados na indústria da construção.

Segundo Bazjanac e Crawley (1997) no ano de 1994 ocorreu a formalização da organização com o nome de Industry Alliance for Interoperability, e uma no após foi aberto possibilidade de associação, sendo que somente no ano de 1996 a entidade alterou novamente seu nome para International Alliance for Interoperability tornando-se uma organização mundialmente reconhecida.

Durante este processo inicial de esforços contínuos desta aliança, a entidade detérminou três fundamentos básicos característicos para o desenvolvimento de um padrão de linguagem para interoperabilidade:

1) Viável e possuir grande valor comercial;
2) Formato aberto e público, reconhecido internacionalmente;
3) A aliança internacional deve ser aberta a qualquer membro interessado em qualquer parte do mundo.

A partir do ano de 1997 foi dado o primeiro passo concreto a ser distribuído para a indústria, decorrido do lançamento do primeiro padrão de linguagem universal, conhecido por IFC (Industry Foundation Classes) em sua versão 1.0 lançado em Janeiro de 1997, desde então este padrão vem evoluindo a cada dia, apresentando novas versões, conforme tabela 3, contribuindo para a padronização universal na colaboração de projetos BIM.

Segundo a organização, em Janeiro de 2008 a IAI, alterou seu nome para BuildingSMART, de forma a refletir corretamente o planejamento estratégico e objetivos da empresa, onde o termo “Building” representa todo o ambiente da indústria da construção e o termo “SMART” representa a forma inteligente de que se deseja construir. (BUILDINGSMART, 2020).

Desde então a organização vem ganhando força na implementação de seus padrões para comunicação entre os agentes envolvidos na indústria, sendo assim diversos formatos foram criados ano após ano evidenciando uma evolução constante, conforme tabela 3, colocando assim o IFC atualmente como um dos formatos de comunicação mais reconhecidos e utilizado atualmente no mundo.

Tabela 3 - Versões IFC

(continua)

Versão	**Nome**	**Publicado**
1.0.0.0	IFC 1.0	Dez/96
1.1.0.0	IFC 1.5	Jan/98
1.1.1.0	IFC 1.5 ADD1	Ago/98
2.0.0.0	IFC 2.0	Out/99
2.1.0.0	IFC 2x	Out/00
2.1.1.0	IFC 2x ADD1	Out/01

Tabela 3 - Versões IFC

(continuação)

2.2.0.0	IFC 2x2	Mai/03
2.2.1.0	IFC 2x2 ADD1	Jul/04
2.3.0.0	IFC 2x3	Dez/05
2.3.0.1	IFC 2x3 TC1	Jul/07
4.0.0.0	IFC 4	Fev/13
4.0.1.0	IFC 4 ADD1	Jun/15
4.0.2.0	IFC 4 ADD2	Jul/16
4.0.2.1	IFC 4 ADD2 TC1	Out/17
4.1.0.0	IFC 4.1	Jun/18
4.2.0.0	IFC 4.2	Abr/19
4.3.rc.1	IFC 4.3 RC1	Abr/20

Fonte: Adaptado de BuildingSMART (Disponível em: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/)

Segundo Eastman et al. (2011) o IFC desempenha papel fundamental para a interoperabilidade, como eixo central na eficiência e produtividade perante o intercâmbio das informações relacionadas a indústria da construção. Para o autor de forma objetiva o IFC representa um esquema desenvolvido no intuito de viabilizar de forma confiável um conjunto de dados padronizados e informações consistentes na integração e interação de objetos e modelos desenvolvidos entre os softwares BIM distintos, desta forma se um dos pilares conceituais do BIM é a interoperabilidade, a eficiência durante a comunicação destes modelos deve ser totalmente fiável, transparente e consistente para o perfeito funcionamento integro da metodologia BIM.

Segundo Miriam et al. (2010) o IFC é um padrão de linguagem de código aberto, com objetivo de facilitar o intercâmbio de informações dos modelos desenvolvidos entre diversos softwares, de forma que seu código classifica os objetos modelados através de classes caracterizadas por seus elementos, processos, geometrias e características inerentes a estes, sendo assim este padrão é responsável por garantir de forma confiável e transparente a troca dos modelos entre os softwares BIM, durante todo o ciclo de vida no processo de desenvolvimento do projeto de edificação.

Para a Câmara Brasileira da Industria da Construção Civil (2016, v. 3, p. 77), o IFC representa um padrão neutro, de código aberto, não proprietário, de dados que objetiva a

descrição, troca e compartilhamento das informações relacionadas a indústria da construção em geral de forma abrangente e bastante ousada, atendendo a todos os elementos pertencentes aos processos envolvidos no desenvolvimento da edificação como concepção, desenvolvimento, contrações, operações entre outros.

Para Correa e Santos (2014) o fruto referente a iniciativa da organização IAI, resultando no desenvolvimento de uma estrutura de formato de arquivo que contempla todos os elementos pertencentes ao processo do desenvolvimento da edificação em todo seu ciclo de vida é rico, contudo é altamente redundante, pois devido a sua abrangência e complexidade envolvida em sua implementação, estabelece um padrão complicado e complexo de ser manipulado e assimilado pelos responsáveis pela modelagem da construção, que de forma clara impacta na adoção do BIM perante a indústria da construção civil.

O esquema IFC dentro de todos os esforços empreendidos desde a década de 80, na busca pela eficiência primordial referente ao intercâmbio de dados relacionados a indústria AEC, representa a expressão máxima atualmente neste contexto, entretanto, apesar de apresentar imperfeições devido sua enorme complexidade, particularidades e pluralidade entre os diversos agentes espalhados pelo mundo, é de fato elemento fundamental para o prosseguimento sustentável de toda a cadeia da indústria da construção.

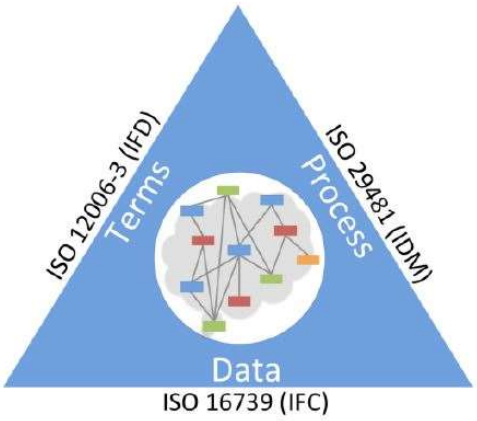
2.5.4 Bases IFC

Amplamente reconhecido como base fundamental da interoperabilidade de modelos de dados de produto da indústria da construção, o IFC fornece uma das bases padronizadas essenciais para que ocorra o intercâmbio de informações. Segundo Santos (2009) outros padrões reconhecidos, como IDM (Information Delivery Manual), MVD (Model View Definitions) e IFD (International Framework for Dictionaries) possuem papeis similares ao IFC e de extrema importância para troca de dados de forma eficiente. Ainda segundo Bell e Bjørkhaug (2006) conceitos como IDM, IFD e IFC são referidos como os três pilares bases para que o verdadeiro fluxo de informação seja colocado em prática, conforme figura 11.

Para além destes conceitos denota-se que diversas padronizações são necessárias para que de fato ocorra uma troca de dados de forma integra e satisfatória e de forma que estes padrões tornem-se realidade são necessários mapeamentos de todas as formas, entidades, elementos e conceitos abstratos relativos a indústria da construção para a modelagem de dados de produto conforme Ayres e Scheer (2009). Os padrões STEP (Standard for the Exchange of

Product Model) e a linguagem EXPRESS segundo os autores fornecem bases suficientes para interpretação todos os elementos necessários entre os diversos domínios da construção.

Figura 11 - Pilares fundamentais da interoperabilidade



Fonte: Laakso M, Viviniemi AO (2012)

2.5.4.1 ISO 10303 STEP e linguem EXPRESS

A compreensão da complexidade da estrutura utilizado pelo esquema IFC, primordialmente inicia-se através da compreensão computacional dos elementos envolvidos na cadeia da construção convertidos através da modelagem de dados de produto, desta forma, com intuito de criar subsídios em termos de linguagem de máquina para sua interpretação do mundo real é essencial a existência de padrões, que sejam capazes de realizar esta interpretação.

Segundo Eastman et al. (2011) devidos padrões foram substanciados pelo desenvolvimento do padrão STEP preconizados pela ISO 10303, que prescrevia como umas de suas premissas a utilização de uma linguagem para modelagem de dados que fosse interpretável computacionalmente. Conforme Manzione (2013) o IFC é definido e interpretado através das especificações técnicas publicadas pela ISO 10303, que objetiva estabelecer critérios e princípios para a representação e intercâmbio de informações para modelos de dados de produtos.

Conforme Ayres e Scheer (2009) a publicação desta normativa alcançada após anos de pesquisas e tratativas acerca de modelos de produto, está organizada em diversas partes conhecidas como Application Protocols (protocolos de aplicação) definindo suas diversas especificações e padronizações, sendo assim devidos esforços empreendidos no desenvolvimento do padrão STEP resultaram em uma ampla gama de esquemas e

especificações, sendo as mais notáveis a ISO 10303 – parte 11 que fornece base fundamental para a concepção da linguagem EXPRESS que tornou-se elemento essencial para a interpretação computacional na modelagem de dados de produtos.

Para Manzione (2013) outra parte importante dentro das especificações da ISO 10303 é sua parte 21 que fornece bases para o intercâmbio de dados do IFC através de um mapeamento de dados em arquivo de texto.

Para Eastman et al (2011) a linguagem EXPRESS utiliza um conceito bastante difundido nas linguagens computacionais que refere-se a interpretação da máquina, de elementos físicos e conceitos abstratos através da orientação a objetos, desta forma qualquer objeto ou conceito consegue ser representado em uma linguagem de máquina, possibilitando assim amplitude necessária no alcance de todos os conceitos e elementos envolvidos para uma precisa modelagem computacional através de dados de informação.

2.5.4.2 IDM – Information Delivery Manual

Devido a sua particularidade, a indústria da construção possui uma ampla gama de agentes envolvidos durante todo o ciclo de vida de uma edificação, assim como também possui peculiaridades envolvendo a regionalidade de cada processo envolvido, desta forma é essencial que todos os envolvidos tenham acesso a quais informações em quais fases estas informações devem estar disponíveis.

Segundo Bell e Bjørkhaug (2006), o padrão IFC permite que o modelo de dados seja em sua integralidade intercambiado entre dois agentes, entretanto ambos devem estar de acordo em quais informações necessitam evitando assim a troca excessiva e desnecessária de dados. Ainda para os autores tais informações devem ser especificadas como premissas das informações necessárias, inclusas nos contratos iniciais do projeto.

Conforme a BuildingSMART desenvolvedora e mantenedora do padrão IDM preconizado e normatizado através da norma ISO 29481-1 – Building Information Modelling – Infomation Delivery Manual, devido padrão consegue de forma integra capturar e especificar todos estes processos e particularidades de forma a possibilitar que somente o essencial seja intercambiado entre os agentes.

Para Toledo (2009) a especificação IDM é descrita como uma metodologia descrevendo todos os elementos, processos relacionados aos domínios envolvidos através de um mapeamento completo dos processos de negócio possibilitando desta forma o correto sequenciamento e fluxo das informações.

2.5.4.3 MVD – Model View Definitions

O esquema MVD é parte intrínseca aos padrões IDM, pois ao passo que um padrão especifica as particularidades, trabalhando com a camada dos usuários e suas e reais necessidades das informações, outro padrão realiza a associação destes processos e elementos ao esquema IFC possibilitando assim que estas entidades classificadas sejam mapeadas em classes IFC, conforme Santos (2009).

Para a BuildingSMART este padrão é definido como um subconjunto do esquema geral IFC de forma a especificar o intercâmbio de dados em usos específicos, podendo comtemplar todo o esquema IFC, como apenas parte dele, sendo assim é possivel através das especificações fornecidas pelos padrões IDM, criar modelos padronizados de informações necessárias, para casos específicos entre diversos domínios, promovendo consistência e predizibilidade relativa entre uma diversidade de projetos e agentes envolvidos.

2.5.4.4 IFD – International Framework for Dictionaries

O IFD é parte da tríade essencial para o intercâmbio de informações através do padrão IFC. Neste contexto de interoperabilidade ele refere-se a um dicionário de dados que disponibiliza definições e conceitos dos elementos da construção, garantindo integridade e conceituação das informações e compatibilidade internacional entre as diversas linguagens existentes nos softwares BIM conforme Amorim et al (2011).

Para Santos (2009) devidos as limitações existentes dentro dos padrões IFC relacionados a semântica e em contextualizar as informações pertinentes a qualificação e mensuração dos dados de produto, o IFD atua como um dicionário padronizado multilinguagem transpondo as informações e conceitos dos produtos para interpretação do padrão IFC. Ainda conforme o autor, o IFD possui como característica intrínseca em seu conceito, o significado da informação.

Segundo Bjørkhaug e Bell (2006) o IFD refere-se a um banco de dados onde conceitos e elementos estão devidamente identificados e detalhados, apresentando identidade única universal através de um número GUID (Globally Unique Identifier), desta forma enquanto o IFC descreve os objetos, suas interações, formas de comunicação e armazenamento o IFD descreve o que são os objetos e quais partes, propriedades e valores elas podem ter.

Sendo assim, o IFD disponibiliza instrumento suficiente para que ocorra a qualificação e descrição do significado da informação durante o intercâmbio de dados entre softwares BIM e sua perfeita sinergia com o IFC.

Esta interação é somente possivel devido a sua normatização descrita sob a ISO 12006-3 que prove a especificação de uma linguagem padronizada neutra, utilizada no desenvolvimento de dicionários para construção. Outro fator importante dentro desta relação entre IFC e IFD é a implementação da classe IfcLibraryInformation dentro das especificações IFC, sendo esta responsável pela intercomunicação direta com o dicionário IFD.

2.5.5 Arquitetura IFC

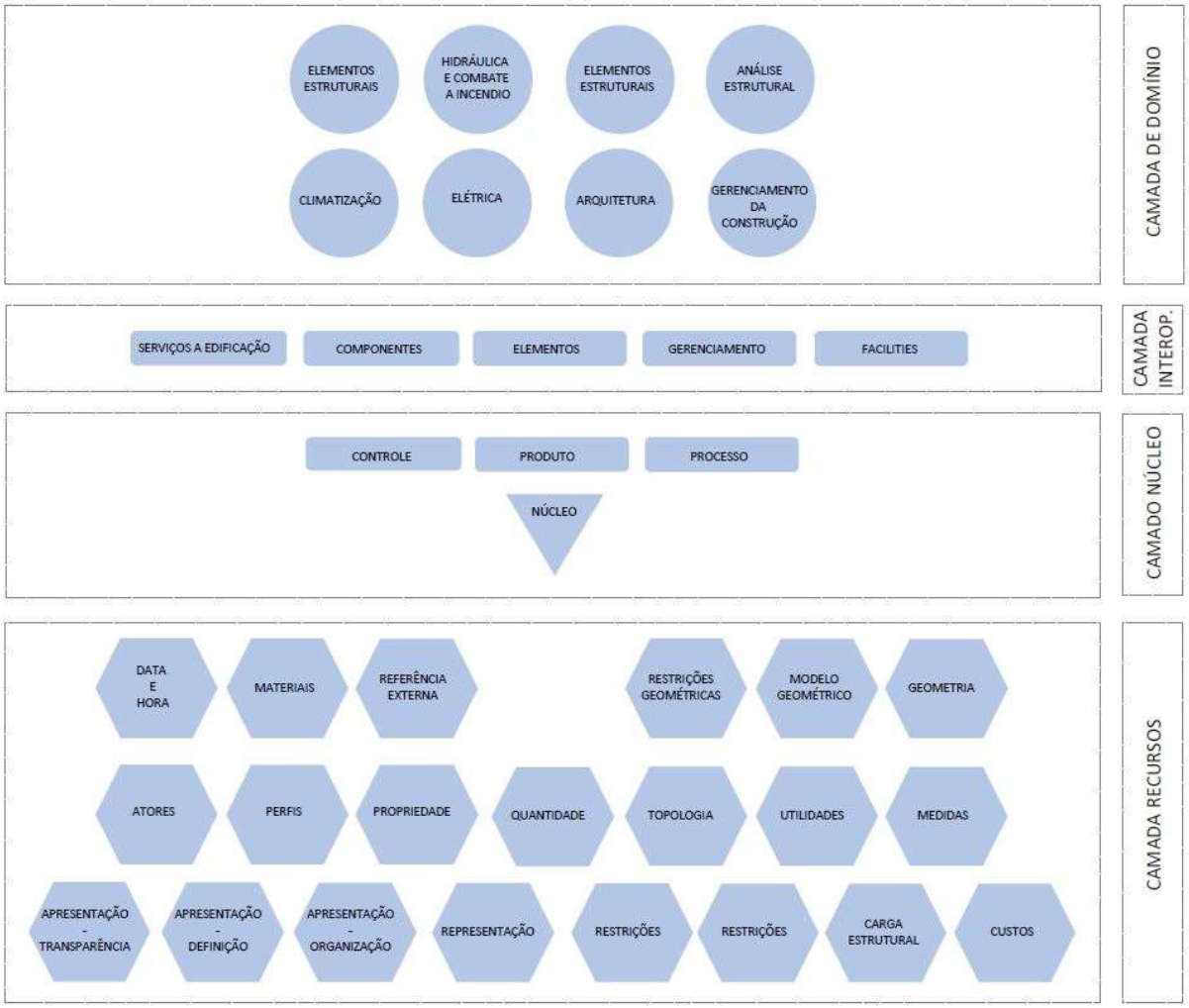
Conforme Eastman et al (2011), embora alguns esforços realizados pela ISO STEP fossem focados em intercâmbio de dados relacionados a domínios específicos, o IFC foi arquitetado de forma a criar uma estrutura expansível e compartilhado entre vários domínios específicos, através de uma grande estrutura de conjunto de representações de informação integras e consistentes.

O IFC, por apresentar uma gama de conjuntos compartilhados de padrões possui certa heterogeneidade seja para sua implementação como para utilização e compreensão de sua arquitetura dividida em camadas sequenciadas, consequentemente ampliam sua complexidade, devido a vastidão de entidades, funções, propriedades existentes, possíveis de utilização em uma interoperação de dados.

Para demonstração, este trabalho visa evidenciar em suma as funcionalidades existentes dentro do esquema IFC em sua versão 2x3, por representar versão atualmente amplamente difundida e utilizada, entretanto a versão 4, atualmente a mais recente desenvolvida será retratada também neste trabalho.

De acordo com as especificações de referência fornecidas pela BuildingSMART, em sua versão 4.1 o IFC possui 130 tipos para definição, 210 tipos para enumeração, 60 tipos para seleção, 801 definições de entidades e 413 conjuntos de propriedades, ao passo que em sua versão 2x3 TR1 o esquema IFC conforme figura 12 que encontra-se em tamanho ampliado no anexo C, possui 117 tipos para definição, 164 tipos para enumeração, 46 tipos para seleção, 653 definições de entidades e 317 conjuntos de propriedades, sendo em ambos os esquemas compilados em uma estrutura de 04 camadas, demonstrando assim a grande complexidade envolvendo a quantidade de elementos existentes para suas devidas implementações.

Figura 12 - Camadas esquema IFC



Fonte: Adaptado de BuildingSMART (2020).

2.5.5.1 Camada de recursos

Esta categoria contempla a base para representações essenciais das propriedades das entidades empregadas nos elementos da indústria da construção, conforme Khemlani (2004) estas entidades funcionam como recursos para definição das propriedades das entidades como geometria, materiais, medidas, quantidades entre outros possibilitando o relacionamento com entidades de suas camadas subsequentes.

Um dos pontos importantes dentro do IFC é processado nesta camada de recursos, onde conforme Eastman et al. (2011) devido sua arquitetura desenvolvida por meio da linguagem EXPRESS é possivel que através da especialização destas entidades ocorra a origem e classificação de novas subentidades de forma a garantir que ocorra a extensão do arquivo IFC.

2.5.5.2 Camada do núcleo

A camada do núcleo representa o eixo central da arquitetura IFC, sendo ela representada através da especificação de 04 subcamadas.

Segundo Manzione (2013) e Khemlani (2004) a camada do núcleo é responsável por atribuir os conceitos abstratos como atores, grupos, produtos, relações, espaços, e terreno sendo todos referenciados em camadas subsequentes.

A subcamada núcleo (IfcKernel), é reconhecida como a mais notável, pois é nela que estão implementadas as entidades fundamentais referentes as classes IFC. Nesta subcamada encontram-se conceitos abstratos fundamentais como ator, grupo, processo, produto e relacionamentos.

A entidade IfcRoot é entidade dentro da subcamada núcleo, sendo a mais abstrata de todas as definições de entidades, definida como supertipo comum conforme BuildingSMART (2020).

Outra entidade bastante importante é denominada de IfcPropertySet que define de forma dinâmica toda e qualquer propriedade extensível, através de uma estrutura em arvore. Conforme Manzione (2013) a entidade se refere a um conjunto de propriedades compartilhados utilizados para definição de um objeto originando um supertipo comum compartilhado.

A subcamada extensão de produto (IfcProductExtension) define componentes abstratos relacionados ao contexto de projeto como espaços (IfcSpace) e anotações (IfcAnnotation).

A subcamada extensão do processo (IfcProcessExtension) relaciona conceitos abstratos acerca de planejamento e sequenciamento de projetos da construção. Nesta camada encontram-se entidades como IfcTask que identifica unidade de trabalho.

A subcamada extensão de controle (IfcControlExtension) define entidades básicas abstratas para a relação de controle, e nela residem entidades como IfcTimeSeriesSchedule que define uma serie temporal para aplicação em calendários.

2.5.5.3 Camada de interoperabilidade

Esta camada é responsável pela definição e representação de entidades físicas relacionadas a indústria da construção, como paredes (IfcWall), portas (IfcDoor), janelas (IfcWindow), vigas (IfcBeam) e outros, além de propriedades relacionadas a áreas de domínio

como propriedades de básicas elétricas (IfcElectricalBaseProperties), propriedades acústicas (IfcSoundProperties), propriedades e fluxo de fluidos (IfcFluidFlowProperties) e outros.

2.5.5.4 Camada de dominio

Dentro da arquitetura IFC esta é a camada de mais alto nível lidando com domínios específicos de atuação como elétrica e suas entidades especificas como tipo de sistema de distribuição (IfcElectricalCircuit) ou estacas (IfcPile) dentro do domino de elementos estruturais.

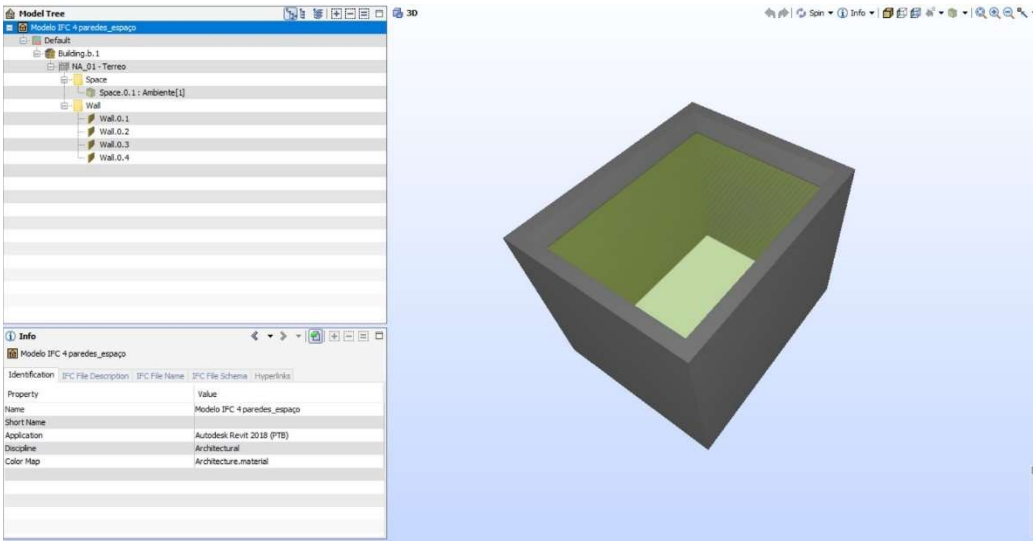
2.5.6 Relacionamento entre entidades IFC

Em uma interoperação realizada entre softwares distintos BIM, uma aplicação fonte gera o arquivo de modelo de dados e através de um processo colaborativo de transposição de informação o esquema IFC realiza a codificação deste modelo de dados para um arquivo ao passo que o agente receptor realiza a transposição inversa deste modelo de dados para importação em seu software nativo.

A princípio pode parecer um processo simples e rotineiro a exportação e importação de um arquivo IFC entre softwares BIM, entretanto conforme Khemlani (2004) este, é definido como uma das partes crítica durante a transposição de dados, em decorrência da classificação das entidades, devido a semântica envolvida.

De forma a exemplificar o funcionamento e hierarquização entre entidades IFC, faremos menção ao exemplo utilizado pela autora, que relaciona a interação existente entre elementos da indústria da construção, neste caso, um elemento do tipo parede e outro elemento do tipo espaço, conforme figura 13, desta forma é apresentado uma visão holística no relacionamento e hierarquias destas entidades necessárias para o funcionamento e suas camadas de operação, assim como representação geométrica deste modelo conforme as seguintes imagens.

Figura 13 - Representação geométrica do IFC no Software Solibri Model Viewer



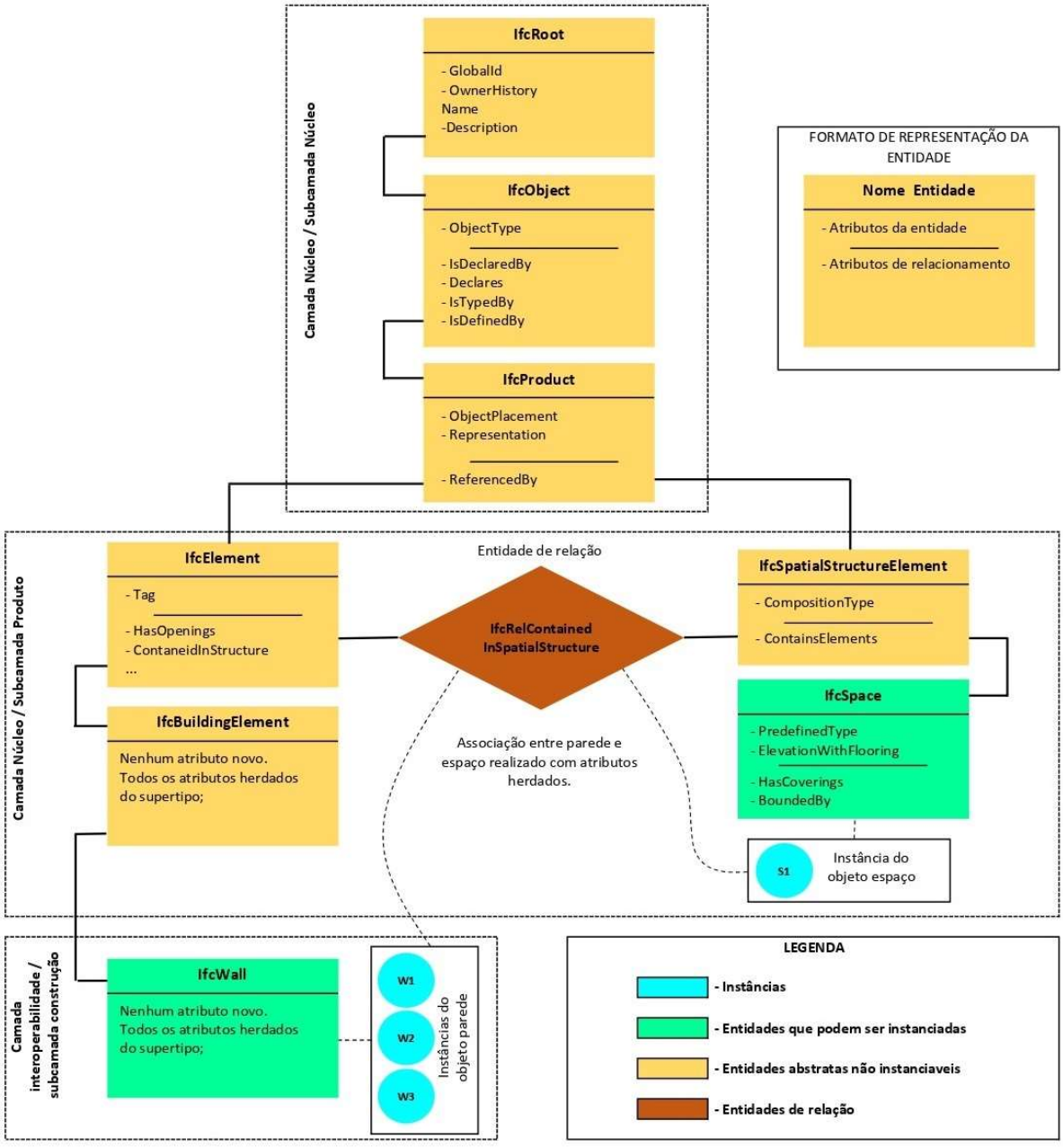
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Segundo a autora a semântica apresentada, ao processo por si só, apresenta grande complexidade no relacionamento e interação entre as entidades necessárias para o intercâmbio de dados, porem outro fator importante para o modelo de dados da construção estão atrelados as especificidades intrínsecas as necessidades do setor, como a relação existente entre um espaço e as paredes conforme o modelo exemplificado.

Analisando a figura 14 em tamanho ampliado no anexo C, verifica-se a completa hierarquia entre as diversas entidades existentes, responsáveis pela classificação e definição do modelo de dados, onde o elemento parede definido pela entidade (*IfcWall*), enquadrada dentro da camada *interoperabilidade* e subcamada *construção*, faz referência ao elemento físico da construção definindo assim sua classificação e suas propriedades básicas elementares como geometria, altura, espessura entre outros.

Conforme a autora, a representação básica característica das propriedades de todas as entidades, são oriundas da camada *recursos*, denominados de conjunto de propriedades (*PropertySets*), que provem uma gama de especificações e definições para os elementos da indústria da construção, desta forma evidencia-se um dos fatores essenciais para a instanciação e expansão dos elementos.

Figura 14 - Hierarquia de domínios e entidades IFC



Fonte: Adaptado de Khemlani (2004).

A organização BuildingSMART, define como conjunto de propriedades a entidade denominada de *IfcPropertySet,* que possui uma estrutura em arvore atribuindo propriedades em conjunto para determinada entidade. Conforme Manzione (2013) a entidade é responsável pela definição de diversas características como materiais, desempenho, características contextuais como dados climáticos, elétricos de um circuito e outros relacionados em suas áreas de domínio, sendo assim uma entidade de relacionamento denominado *IfcRelDefinedByProperties* realiza o relacionamento entre objeto e propriedades necessárias para sua caracterização.

Analisando suas características básicas, verificamos que devida entidade IfcWall, ao definir um elemento físico, isto é, não sendo abstrata, possui a característica de ser instanciada, consequentemente diversos elementos paredes podem ser criados, sem a necessidade de repetição ao criar uma nova entidade com as mesmas características porem somente com propriedades modificadas.

Através do conceito de hereditariedade as propriedades físicas atribuídos a entidade IfcWall e suas instancias, são repassados a camada superior denominada núcleo onde na subcamada produto ocorre sua classificação dentro do modelo de dados através das entidades *IfcBuildingElement* e *IfcElement*, além disso nesta subcamada são definidos os relacionamentos existentes representado pela entidade *IfcRelContainedInSpatialStrucure*.

Igualmente ocorre com a classificação do elemento espaço enquadrado através da entidade *IfcSpace,* porém esta se encontra diretamente como entidade da camada *núcleo*, e suas classificações e relacionamentos ocorrem na subcamada *produto*, da mesma forma que ocorre com a entidade *IfcWall*.

A partir do relacionamento existente entre as entidades herdades *IfcWall* e *IfcSpace* dentro da subcamada *produto,* ocorre a hereditariedade destas entidades para um nível superior enquadrado dentro da subcamada Núcleo que realiza a definição destes elementos e seus relacionamentos através das entidades *IfcProduct* e *IfcObject,* posteriormente ocorre o encapsulamento dentro do supertipo *IfcRoot* que identifica o elemento através de um numero GUID sendo este responsável pela identificação única do elemento dentro do modelo de dados.

Através deste exemplo é possivel verificar a complexidade existente durante a classificação e definição de relacionamentos entre as diversas entidades classificadas dentro das especificações IFC. Para ambos os autores Manzione (2013) e Khemlani (2004) a possibilidade de relacionamentos existentes entre entidades, é surpreendentemente exacerbada, porém necessária, entretanto é o usuário que deve garantir a correta classificação seja executada pelo IFC e software utilizado para modelagem de dados, constituindo assim este um fator crítico para a correto interoperação de dados.

Ainda de forma a ampliar a complexidade durante a interoperabilidade, é evidente, conforme Khemlani (2004) que para haver plenitude na troca de dados entre aplicativos, haveria necessidade de um superconjunto de dados, o que tornaria impossível e inviável a implementação do IFC, devido a isso surge a necessidade de criação de métodos para extensão do arquivo através de definições genéricas.

Para Manzione (2013) em casos como este, onde inexiste a classificação do objeto, a entidade *IfcProxy* é responsável pela característica de extensibilidade por parte do IFC

servindo assim como mecanismo fornecido para linguagem para categorização do objeto e sua futura classificação e definição.

2.5.7 Estrutura do arquivo IFC

A compreensão da estrutura hierárquica dentro do arquivo IFC também é parte importante para completo entendimento relacionado ao intercâmbio de dados durante sua troca entre os diversos agentes, onde devida padronização e definição encontra-se normatizada através da ISO 10303-21 responsável pelos métodos de implementação e encapsulamento da estrutura para intercâmbio do modelo de dados.

Para melhor compreensão será utilizado o mesmo arquivo IFC usado para demonstrar a hierarquia existente entre entidades e relações entre estas, proposta pela autora Khemlani (2004). Para tal, o arquivo será acessado em sua forma de texto através de aplicativo para edição de texto, conforme imagens 15 e 16.

Figura 15 – Corpo inicial arquivo IFC

```
ISO-10303-21;
HEADER;

/*****************************************************************************
**********
* STEP Physical File produced by: The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07
: 28 Aug 2013
* Module:                         EDMstepFileFactory/EDMstandAlone
* Creation date:                  Sun Apr 19 09:59:00 2020
* Host:                           DESKTOP-AJ70CT0
* Database:
C:\Users\bbrun\AppData\Local\Temp\{B01E290B-65E2-4859-A1A2-F9C2B5210932}\ifc
* Database version:               5507
* Database creation date:         Sun Apr 19 09:58:58 2020
* Schema:                         IFC2X3
* Model:                          DataRepository.ifc
* Model creation date:            Sun Apr 19 09:58:59 2020
* Header model:                   DataRepository.ifc_HeaderModel
* Header model creation date:     Sun Apr 19 09:58:59 2020
* EDMuser:                        sdai-user
* EDMgroup:                       sdai-group
* License ID and type:            5605 : Permanent license. Expiry date:
* EDMstepFileFactory options:     020000
*****************************************************************************
*********/
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [CoordinationView_V2.0]'),'2;1');
FILE_NAME('','2020-04-19T09:59:00',(''),(''),'The EXPRESS Data Manager Version
5.02.0100.07 : 28 Aug 2013','20190510_1515(x64) - Exporter 18.3.3.18 - IU
alternativa 18.3.3.18','');
FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));
ENDSEC;

DATA;
#1= IFCORGANIZATION($,'Autodesk Revit 2018 (PTB)',$,$,$);
#5= IFCAPPLICATION(#1,'2018','Autodesk Revit 2018 (PTB)','Revit');
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#9= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#11= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#13= IFCDIRECTION((-1.,0.,0.));
#15= IFCDIRECTION((0.,1.,0.));
#17= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#19= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#21= IFCDIRECTION((0.,0.,-1.));
#23= IFCDIRECTION((1.,0.));
#25= IFCDIRECTION((-1.,0.));
#27= IFCDIRECTION((0.,1.));
#29= IFCDIRECTION((0.,-1.));
#31= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#32= IFCLOCALPLACEMENT(#331,#31);
#35= IFCPERSON($,'','Bbrunetto',$,$,$,$,$);
#37= IFCORGANIZATION($,'','',$,$);
#38= IFCPERSONANDORGANIZATION(#35,#37,$);
#41= IFCOWNERHISTORY(#38,#5,$,.NOCHANGE.,$,$,$,1587301014);
#42= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,.CENTI.,.METRE.);
```

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 16 - Corpo final do arquivo IFC

```
#338= IFCSTYLEDITEM(#337,(#166),$);
#341= IFCSHAPEREPRESENTATION(#105,'Body','SweptSolid',(#337));
#343= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#330,#341));
#347= IFCWALLSTANDARDCASE('0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wUT',#42,'Parede b\X2\00E1\X0\sica:Gen\X2\00E9\X0\rica - 20cm:2767',
$,'Parede b\X2\00E1\X0\sica:Gen\X2\00E9\X0\rica - 20cm:1619',#325,#343,'2767',.NOTDEFINED.);
#350= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE(#215,.AXIS2.,.POSITIVE.,-10.,$);
#351= IFCPROPERTYSET('0l08SOhPv9ZOpCl4dF0wUT',#42,'Pset_WallCommon',$,(#223,#231,#232,#233));
#353= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('2cMTqDw258XOtc$zJZFO18',#42,$,$,(#347),#351);
#357= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#358= IFCLOCALPLACEMENT($,#357);
#359= IFCSITE('23dFbCkBbFEQwkrGyilSpy',#42,'Default',$,'',#358,$,$,.ELEMENT.,(42,24,53,508911),(-71,-15,-29,-
58837),0.,$,$);
#364= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('AboveGround',$,IFCLOGICAL(.U.),$);
#365= IFCPROPERTYSET('0l08SOhPv9ZOpCl5ZF0wjc',#42,'Pset_BuildingStoreyCommon',$,(#364));
#368= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1eDiqz$RL7Wv8SDfVozuKm',#42,$,$,(#136),#365);
#372= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('0l08SOhPv9ZOpCjxNF0wjc',#42,$,$,(#180,#277,#312,#347),#136);
#379= IFCRELAGGREGATES('1qWmMj_cL5XQOMq1YIZz0a',#42,$,$,#108,(#359));
#383= IFCRELAGGREGATES('1Ud_0hbq1AnPw1QHM1Je4i',#42,$,$,#359,(#123));
#387= IFCRELAGGREGATES('0l08SOhPv9ZOpCjxVF0wXj',#42,$,$,#123,(#136));
#391= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Reference',$,IFCIDENTIFIER('Informa\X2\00E700F5\X0\es do projeto'),$);
#392= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('NumberOfStoreys',$,IFCINTEGER(1),$);
#393= IFCPROPERTYSET('0l08SOhPv9ZOpCl5$F0wXj',#42,'Pset_BuildingCommon',$,(#391,#392));
#397= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0PqGmpWSj0hRIw8TVQuVrI',#42,$,$,(#123),#393);
#401= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('0PPAi_1z99GvfoBT0MNWc4',#42,$,$,(#180),#218);
#405= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('3eQccIzUPDZfUzN$Jy$GTC',#42,$,$,(#220),#215);
#409= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('0OnHccEdvCGQ5Ix0lrRd81',#42,$,$,(#277),#280);
#413= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('2i$7o8Xa12gx_01VAX5g19',#42,$,$,(#312),#315);
#417= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('3Aa02hHhj2KAfUoYLap_xv',#42,$,$,(#347),#350);
#421= IFCRELDEFINESBYTYPE('2G7wf6xJf6cecLAGXSNEGJ',#42,$,$,(#180,#277,#312,#347),#220);
#428= IFCRELCONNECTSPATHELEMENTS('1FQJBRnkX3RO1u3y3qurPp',#42,'0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wTC|
0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wUT','Structural',$,#180,#347,(),(),.ATEND.,.ATSTART.);
#433= IFCRELCONNECTSPATHELEMENTS('1akEv_68LB89wZQj_w2vkJ',#42,'0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wTC|
0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wSM','Structural',$,#180,#277,(),(),.ATSTART.,.ATEND.);
#437= IFCRELCONNECTSPATHELEMENTS('3B4GbOKej74R7n5K$Zi2zJ',#42,'0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wSM|
0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wV0','Structural',$,#277,#312,(),(),.ATSTART.,.ATEND.);
#442= IFCRELCONNECTSPATHELEMENTS('2tZk9Ya9P8F8ToEGCS1rn1',#42,'0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wV0|
0l08SOhPv9ZOpCjxJF0wUT','Structural',$,#312,#347,(),(),.ATSTART.,.ATEND.);
#446= IFCPRESENTATIONLAYERASSIGNMENT('A-WALL-____-OTLN',$,(#147,#171,#260,#271,#295,#306,#330,#341),$);
ENDSEC;

END-ISO-10303-21;
```

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Um arquivo IFC, conforme imagens é composto basicamente por duas seções de declaração de informações denominadas de “HEADER” e “DATA”, sendo que dentro da primeira seção as declarações possuem uma arquitetura idêntica em todos os arquivos IFC, composta pelas informações básicas do arquivo e suas definições, ao passo que a segunda seção do arquivo nomeada como “DATA” é responsável pelo armazenamento das informações referentes ao modelo de dados, ou seja, é o próprio banco de dados do modelo. Todas as declarações existentes devem estar contidas dentro de uma seção global maior iniciada pela declaração *ISO10303-21* e finalizada com a declaração *END-ISO10303-21;* que ao mesmo tempo iniciam e finalizam respectivamente o arquivo IFC.

Além disso, o arquivo possui similaridade ao formato STEP-File definido pela ISO 10303, de onde decorre sua característica de estrutura descrita em linhas, desta forma cada linha

representa uma entidade, que pode ser referenciada diretamente através de sua linha de inscrição.

A seção HEADER, é composta pelas declarações inclusas com início da declaração *HEADER* e finalizada com a declaração *ENDSEC*, responde pela parte inicial do arquivo IFC sendo responsável pela definição dos atributos relacionados ao próprio arquivo. Dentro desta seção destacam-se as três informações obrigatórias para sua definição, sendo elas:

- FILE_DESCRIPTION;
- FILE_NAME;
- FILE_SCHEMA.

A informação contida dentro do grupo “file_description” refere-se diretamente ao MVD utilizado para tradução do arquivo IFC. Por outro lado, a identificação da versão IFC utilizada é realizada através do grupo de dados “file_schema”. Igualmente essencial são suas caracterisiticas próprias referenciadas pelas declarações do grupo “file_name”, de onde são inseridas informações como autor, organização, data de origem entre outros.

Apesar destas declarações iniciais serem obrigatórias, pode ser necessário a utilização de outras declarações não obrigatórias como “file_population”, “section_language” e “section_context”.

As declarações da seção “DATA” contêm informações diretamente relacionadas ao modelo de dados, sendo ela responsável pela definição das entidades e instancias necessárias para intercâmbio do modelo. Em suma, qualquer divergência existente dentro de um modelo de dados indubitavelmente estará contida nesta seção.

A seção inicia com suas declarações a partir da declaração *DATA* e finalizando através da declaração *ENDSEC*, e cada sentença descrita recebe uma identificação numérica composta do caractere # e um número. Esta é um aspecto importante dentro do arquivo IFC, pois através desta identificação numérica cada entidade pode recorrer a uma declaração realizada anteriormente diretamente através desta identificação, não sendo necessária a repetição de uma declaração já realizada.

Outro detalhe importante, refere-se a subdivisão da seção DATA, pois esta encontra-se dividida em grupos, onde cada um responde por associações características distintas.

Dentro do primeiro grupo temos as informações pertinentes ao software de origem identificado pela entidade IfcOrganization logo na primeira linha de declaração. O segundo grupo possui informações características aos pontos cartesianos e coordenadas utilizadas pelo

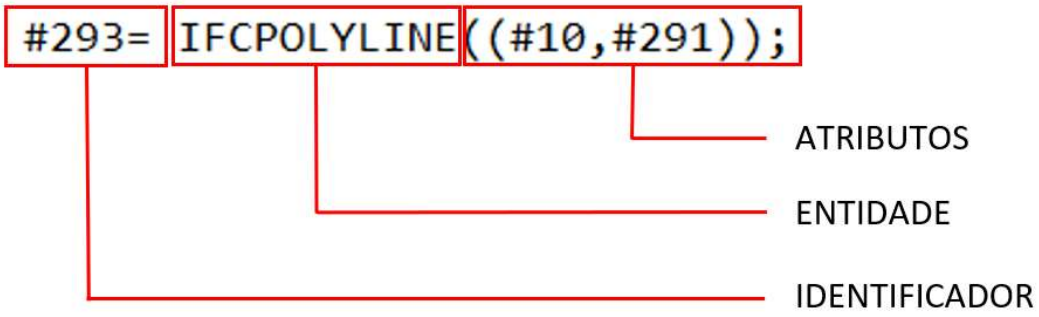
modelo definido por entidades como IfcCartesianPoint e IfcDirection. O terceiro grupo de informações prove características relacionadas as unidades de trabalho dentro do modelo através de entidades como IfcUnit.

O quarto grupo de informações responde pelas classificações e definições do modelo de dados, onde nela estão contidas todas as entidades e instancias necessárias para definição do mesmo. Neste grupo de informações estão contidas as entidades como IfcWall e IfcSpace utilizadas no modelo.

Conforme figura 17, para declaração e definição das entidades, o arquivo IFC é orientado pelo padrão STEP, que preconiza a estruturação de declaração em três grupos de informação:

- Identificador global;
- Entidade;
- Atributos.

Figura 17 - Arquitetura declaração entidade IFC, conforme ISO STEP



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Conforme figura 16, o primeiro campo refere-se ao identificador numérico, sendo este responsável pela identificação da entidade, o segundo campo se referência diretamente ao nome da entidade conforme esquema IFC e por último encontra-se a especificação da entidade e suas definições. Desta forma é possivel verificar na imagem que o identificador #293 composto pela entidade IFCPOLYLINE possui suas especificações conforme sua declaração de implementação definida pela BuildingSMART. É possivel verificar ainda, que está determinada entidade faz referência aos identificadores #10 e #291 integrantes do arquivo IFC.

2.6 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS BIM

A compatibilização se converte em parte do processo colaborativo de um projeto, pois busca-se agregar todos os modelos através do intercâmbio destes vários modelos existentes em um único software com variados propósitos, como quantificar, analisar interferência, planejar entre outros.

Conforme analisado o processo de compatibilização dentro de um projeto de edificação é imprescindível para minimização dos erros durante a fase de execução do projeto, conforme Callegari (2007) este processo é primordial para o controle da produção da edificação ao passo que Melhado (2005) relaciona o processo a uma checagem minuciosa das interferências entre os projetos, de forma que ambos autores orientam o seu desenvolvimento através de profissionais qualificados e totalmente atenciosos durante sua execução. Verifica-se que este processo é extremamente relevante durante suas fases posteriores do processo de projeto, porém sua ineficiência através dos modelos tradicionais corrobora para sua negligencia ou inexistência durante o desenvolvimento de projetos de edificação.

O processo de compatibilização de projetos através da metodologia BIM demonstra certa maturidade e agilidade envolvendo suas ferramentas, pois essencialmente a tecnologia BIM preconiza a integração e interoperabilidade entre os modelos virtuais, de forma a facilitar a sua automatização para análise dos modelos, convertendo esta verificação em uma síntese apresentada em forma de tabelas contendo todas as interferências checadas pelo software e representadas virtualmente através do modelo elaborado, facilitando e minimizando ao máximo o erro humano na fase de análise das interferências.

Para Eastman et al (2010), somente a partir do momento em que os modelos de dados, assim como um adequado formato de interoperação de dados estiverem disponíveis é possivel realizar a colaboração através de um fluxo bidirecional, permitindo que tais modelos sejam analisados e revisados em sua integralidade em ambas as direções. Para Marsico et al (2017) devida importação e exportação dos modelos de dados gerados por softwares distintos visam a integração em sua totalidade em um ambiente tridimensional responsável pela análise e compatibilização dos diversos projetos.

Segundo Dantas Filho et al. (2015) a tecnologia BIM auxilia na inovação dos processos tradicionais desempenhando maior eficiência na conversão dos processos em resultado, fato este analisado de forma considerável entre os processos de comunicação e integração das informações. Segundo o autor é evidente os benefícios apresentados pelo

processo de compatibilização através da tecnologia BIM, que por consequência minimiza substancialmente a quantidade de erros evidenciados através dos processos tradicionais.

Para Marsico et al. (2017) são evidentes as falhas analisadas perante ao desenvolvimento e compatibilização dos projetos de edificação através de ferramentas 2D, sendo primordial a evolução dos seus processos para melhoria do projeto. Neste sentido a compatibilização dos diversos projetos disciplinares através de uma plataforma BIM, é extremamente necessária para a evolução e eficiente desempenho de seu processo, minimizando de forma substancial os erros repassados as fases posteriores.

3 DESENVOLVIMENTO

A estratégia utilizada para este trabalho partiu do princípio do estudo de caso referente a modelagem de um projeto existente, compreendendo as disciplinas de arquitetura, estruturas e eletrica sendo cada disciplina modelada dentro deste projeto multidisciplinar desenvolvida em um software de modelagem diferente com intuito de simular um ambiente real do desenvolvimento de projetos onde cada organização possui seus próprios métodos e fluxo de trabalho.

Ao término de cada modelagem foi elaborado um levantamento de quantitativo dos principais elementos construtivos de forma a serem confrontados em outra plataforma que realizou a compatibilização de todas as disciplinas modeladas, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Elementos inspecionados

(continua)

DISCIPLINA MODELO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
Arquitetura	Esquadrias (portas)	unidade
Arquitetura	Esquadrias (janelas)	unidade
Arquitetura	Equipamentos sanitários	unidade
Arquitetura	Argamassa contrapiso	m² / m³
Arquitetura	Cerâmicas	m²
Arquitetura	Argamassa vedação	m² / m³
Arquitetura	Blocos cerâmicos	m²
Arquitetura	Forro gesso	m²
Estrutural	Estaca de fundação	m³
Estrutural	Bloco de coroamento	m³
Estrutural	Viga baldrame	m³
Estrutural	Vigas	m³
Estrutural	Pilares	m³
Estrutural	Laje concreto	m³
Elétrica	Eletrocalhas	mt
Elétrica	Perfilados	mt
Elétrica	Eletrodutos	mt

Tabela 4 - Elementos inspecionados

(continuação)

Elétrica	Acessórios para infraestrutura	unidade
Elétrica	Caixas de passagem	unidade
Elétrica	Conjunto tomadas modulares	unidade
Elétrica	Quadros de distribuição	unidade
Elétrica	Disjuntores	unidade

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

De forma a interoperabilizar e compatibilizar todas as disciplinas envolvidas, de forma a evidenciar a necessidade de uma perfeita comunicação e sinergia entre os envolvidos, cada software responsável pela sua referente modelagem realizou a exportação para o formato aberto padronizado IFC, sendo este objeto de estudo deste trabalho, para análise e validação de sua eficiência como padrão aberto.

A partir da exportação destes modelos em formato aberto IFC cada software de modelagem realizou a importação destes modelos, como forma de orientar-se para o desenvolvimento de suas atividades de modelagem e elaboração de levantamento de quantitativos.

Após a finalização das referidas modelagens das disciplinas evidenciadas arquitetura, estrutural e elétrica, ambos os modelos IFC foram importados dentro da ferramenta de análise de projetos elencada para compatibilização deste projeto, assim como executar o levantamento dos quantitativos descritos anteriormente e confrontamento destas informações.

Com as informações confrontadas e exploradas buscou-se evidenciar as falhas e vantagens ao utilizar-se o código aberto de comunicação IFC em projetos multidisciplinares que exigem uma perfeita comunicação entre todos os envolvidos durante seu desenvolvimento, de forma a analisar se atualmente sua utilização atende aos requisitos da indústria de projetos AEC, para comunicação integral sem perda de informações sejam elas gráficas ou dados entre todos os seus agentes.

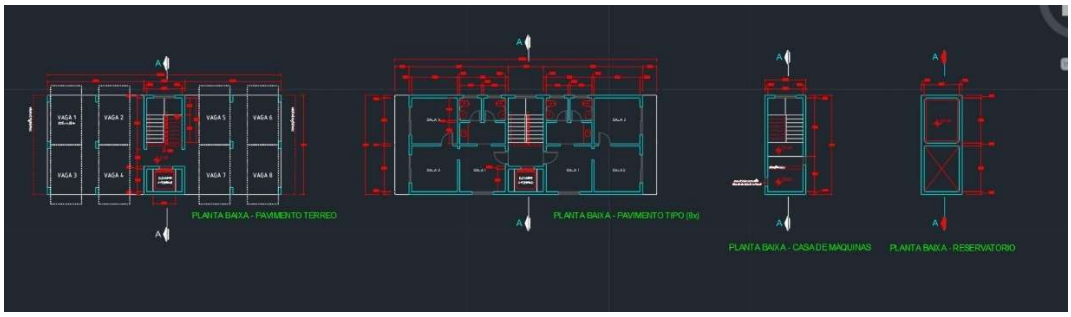
As ferramentas utilizadas na concepção e desenvolvimento deste trabalho são: Autodesk® Revit e Navisworks, Graphisoft® Archicad, Bentley® Openbuilding e Nemetschek® Solibri Model Viewer sendo que foram escolhidas por representarem, conforme pesquisas, uma grandiosa fatia do mercado, atenderem aos requisitos básicos de interoperabilidade conforme certificações obtidas pela organização BuildingSMART que

representa e desenvolve o código de padrão aberto de comunicação IFC assim como por disponibilizarem suas ferramentas em versões educacionais gratuitas.

3.1 CARACTERISTICAS DO MODELO

Conforme figura 18 que encontra-se em tamanho real no anexo A, o empreendimento utilizado neste trabalho tem como característica seu uso comercial abrangendo uma área total construída de 1340,87 m² distribuídos em 8 pavimentos, totalizando 16 salas comercias de 48,62 m².

Figura 18 - Projeto CAD da edificação



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

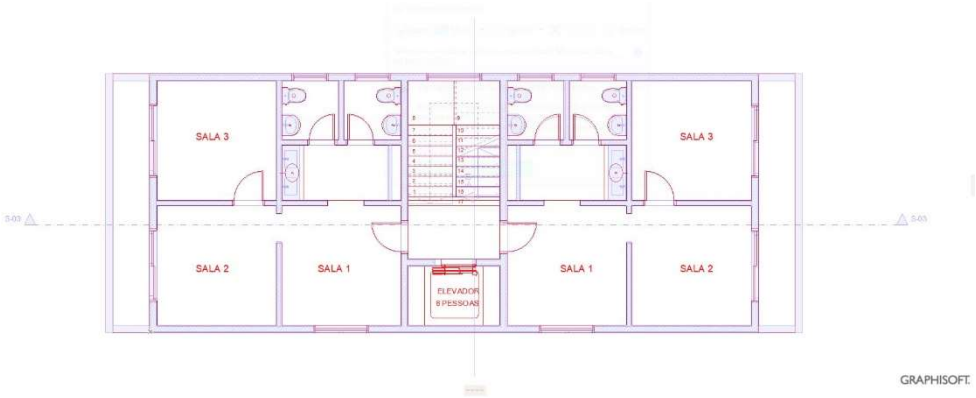
A estrutura da edificação é caracterizada pela utilização de concreto armado estrutural composto com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos e fundação do tipo profunda através de estacas pré-moldadas.

3.2 MODELO ARQUITETÔNICO

O processo de projeto convencional da indústria da construção seja ele através de ferramentas CAD ou ferramentas de modelagem BIM, é quase em sua totalidade orientado através de projeto arquitetônico, sendo este elemento norteador que guia e orienta a execução das demais disciplinas.

Neste trabalho o projeto arquitetônico foi desenvolvido com o auxílio da ferramenta de modelagem BIM ArchiCAD da empresa Graphisoft®, orientado pelo projeto CAD desenvolvido, inserido dentro da ferramenta BIM, conforme figuras 19 e 20 que encontra-se em tamanho ampliado no anexo B.

Figura 19 - Sobreposição do projeto CAD com projeto arquitetônico no ArchiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 20 - Modelo arquitetônico no ArchiCAD

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Para a modelagem foram necessários a elaboração de tipos de famílias que representam cada elemento da construção de forma gráfica, de forma a facilitar a análise e verificação de cada elemento criado, sendo que estes foram criados conforme a determinação dos métodos e elementos construtivos descritos a partir de seu memorial descritivo, de forma a auxiliar na extração de quantitativos.

Devido processo é parte fundamental dentro da metodologia BIM pois permite a descrição de cada elemento em sua totalidade, fornecendo subsídios para todos os envolvidos obterem a informação correta quando necessário, sendo assim cada família é composta por diversas informações específicas características referentes ao seu determinado uso como tamanho, espessura, altura, materiais, custos entre outros dados essenciais para sua caracterização.

Em conformidade com as especificações descritas pelo memorial descritivo foram criadas as seguintes famílias e tipos para elementos construtivos do tipo parede de vedação com

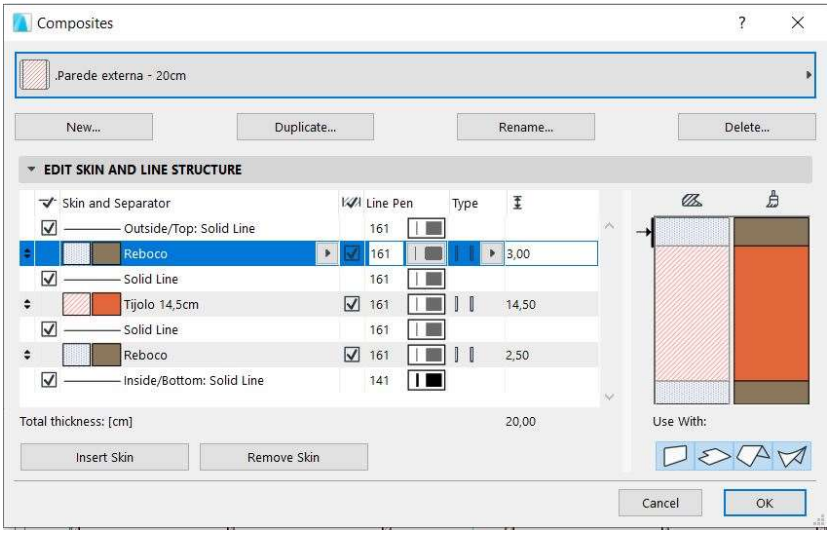
as seguintes denominações descritas na tabela 5. A figura 21 representa a configuração dos elementos dentro do software ArchiCAD.

Tabela 5 - Tipos de famílias paredes e subcamadas

TIPO	CAMADA EXTERIOR	CAMADA CENTRO	CAMADA INTERNA
Parede externa 20cm	Reboco 3cm	Tijolo 14,50cm	Reboco 2,5cm
Parede interna 11cm	Reboco 2cm	Tijolo 9cm	
Parede interna 15cm	Reboco 2cm	Tijolo 11cm	Reboco 2cm

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 21 - Composição de família tipo parede no ArhiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Após a finalização do modelo arquitetônico foi possivel extrair uma lista de quantitativos básicos para posterior comparação após a exportação para modelo IFC, conforme tabela 6. A figura 21 demonstra a extração de quantitativos dos elementos blocos cerâmicos diretamente no ArchiCAD.

Tabela 6 – Materiais extraídos no modelo arquitetônico

(continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADES
01	Porta madeira 80x210cm	unid.	34
02	Porta madeira 70x210cm	unid.	32

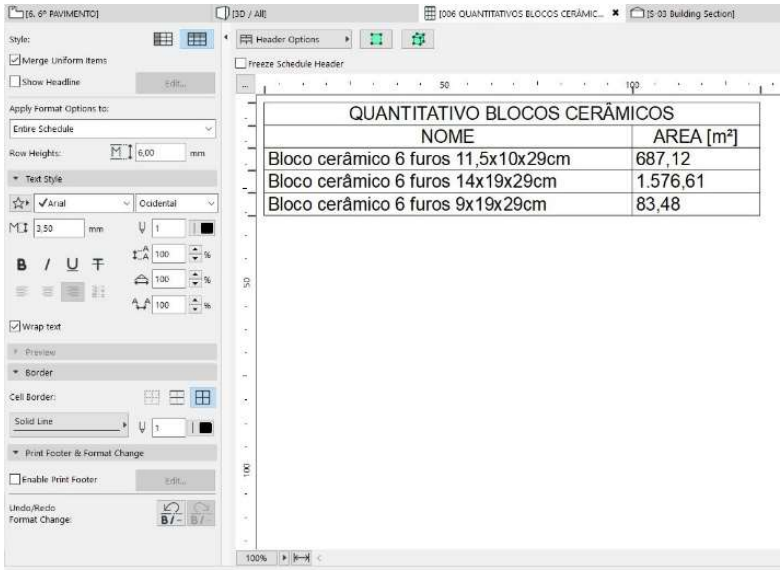
Tabela 6 – Materiais extraídos no modelo arquitetônico

(continuação)

03	Porta madeira 80x190cm	unid.	1
04	Janela dupla de correr 120x150cm	unid.	16
05	Janela dupla de correr 210X190cm	unid.	32
06	Janela maxim ar 60x90cm	unid.	32
07	Janela maxim ar 120x150cm	unid.	9
08	Janela veneziana fechada 60x60cm	unid.	2
09	Bacio sanitário	unid.	32
10	Lavatório banheiro tipo pedestal	unid.	32
11	Argamassa de vedação externa	m³	63,03
12	Argamassa de vedação interna	m³	49,05
12	Argamassa de contrapiso	m² / m³	1,042,71 / 85,32
13	Bloco cerâmico 6 furos 9x19x29cm	m²	83,48
14	Bloco cerâmico 6 furos 11,5x19x29cm	m²	687,12
15	Bloco cerâmico 6 furos 14x19x29cm	m²	1576,61
16	Forro gesso	m²	655,68
17	Piso cerâmico esmaltado 61x61cm	m²	701,40

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 22 - Extração quantitativo de blocos cerâmicos no ArchiCAD



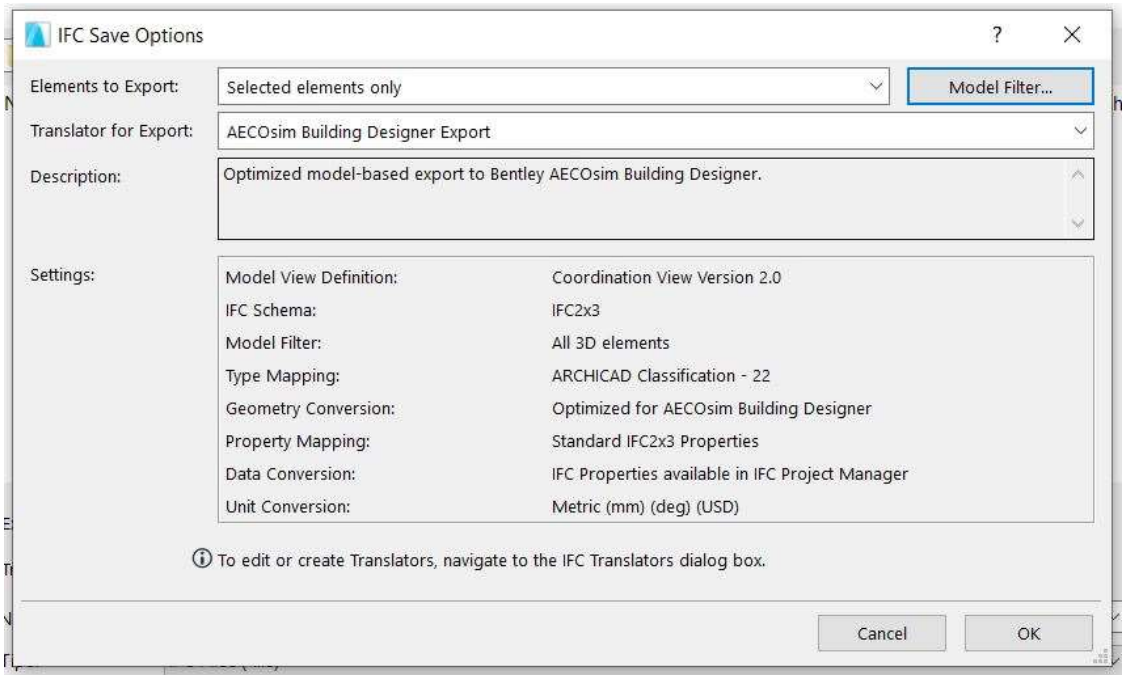
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.2.1 Exportação IFC do modelo arquitetônico

A exportação para o padrão de código aberto IFC é parte fundamental dentro de um fluxo de processo de projeto multidisciplinar, onde o modelo arquitetônico é elemento norteador dentro deste processo.

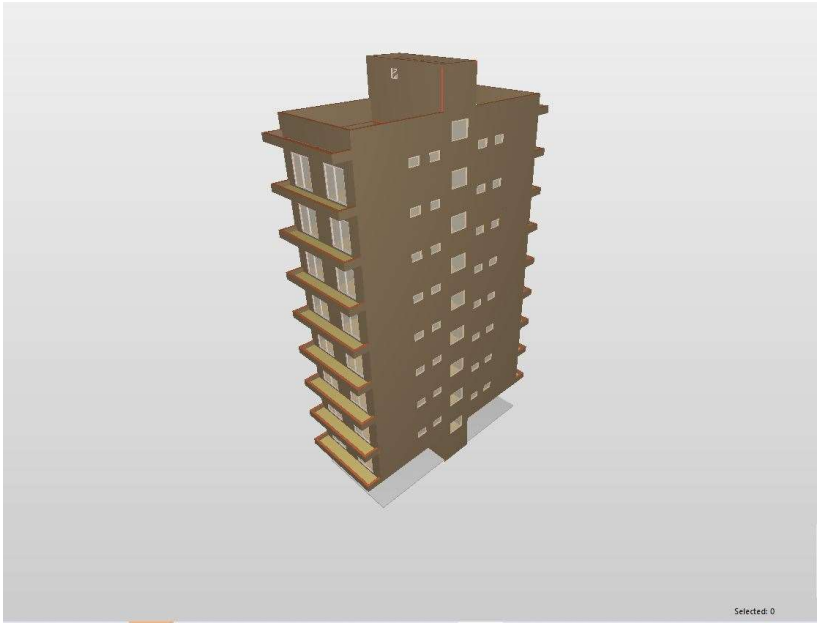
Neste trabalho a exportação do modelo arquitetônico utilizou um MVD existente e adaptado ao fluxo entre os softwares ArchiCAD e Openbuilding, denominado de AECOsim Building Designer Export, esquema IFC versão 2x3 e as configurações padrões do software ArchiCAD, conforme figura 23, desta forma buscou-se a menor quantidade de alterações possíveis aos padrões existentes no intuito de avaliar estas estruturas e tradutores padrões existentes. Ao término da exportação do modelo arquitetônico, realizou-se a sua averiguação e analise primária através do software Solibri de acordo com a figura 24.

Figura 23 - Configurações de exportação IFC no modelo arquitetônico



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 24 - Modelo arquitetônico IFC importado no Solibri



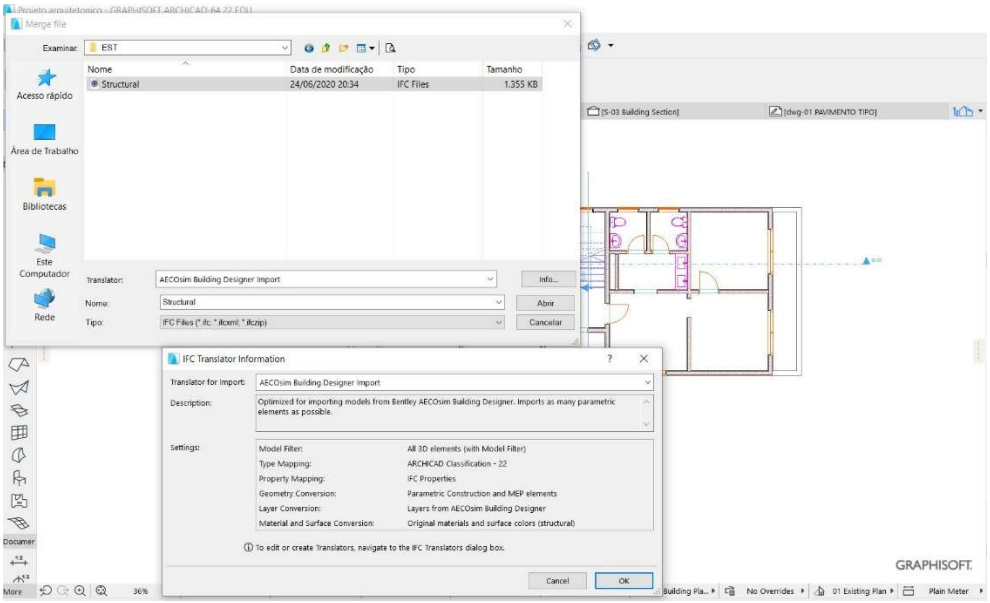
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.2.2 Interação modelo arquitetura e estrutural no ArchiCAD

A troca de informações entre os modelos arquitetônico e estrutural dentro do software ArchiCAD, foi realizado, conforme figura 25 em tamanho ampliado no anexo D, pela importação do modelo estrutural através do esquema IFC em sua versão 2x3, intermediado pelo MVD nativo da ferramenta ArchiCAD, denominado AECOSim Building Design Import e representa um esforço compreendido entre os desenvolvedores de ambos os softwares com intuito de criar um fluxo operável e estável entre estes, desta forma nenhuma configuração adicional foi efetivado para intercâmbio destas informações.

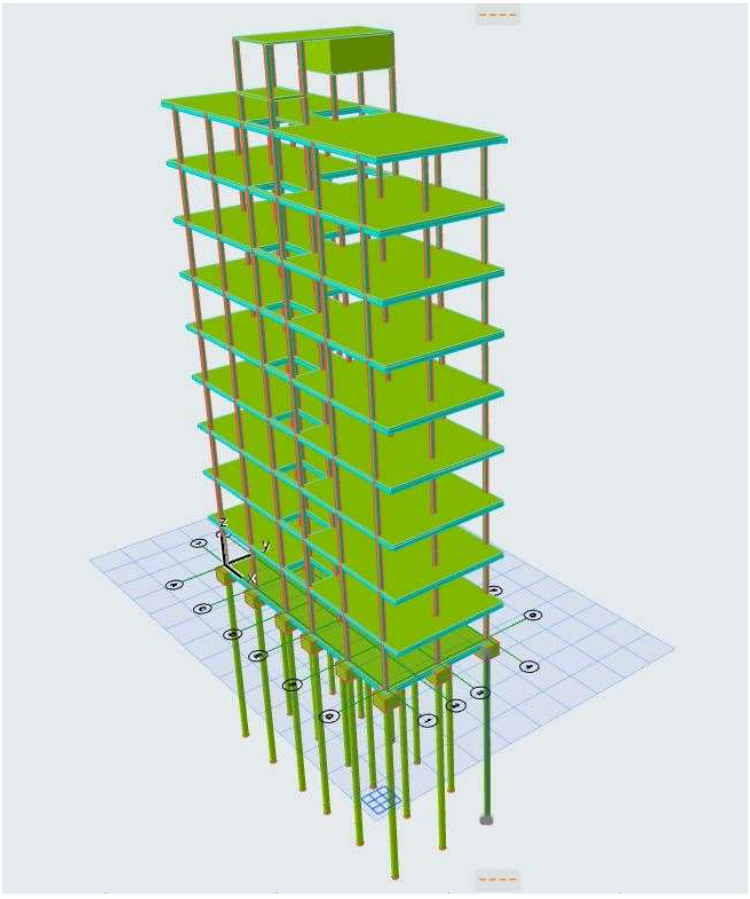
Outro fator importante para determinação de seu uso nesta interoperação é a certificação emitida pela BuildingSMART aferindo que este fluxo é estável e possui requisitos mínimos para troca de dados IFC. A figura 26 demonstra a importação realizada no software ArchiCAD do modelo estrutural desenvolvido no software Openbuildings através do esquema IFC.

Figura 25 - Configurações importação do modelo estrutural no ArchiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

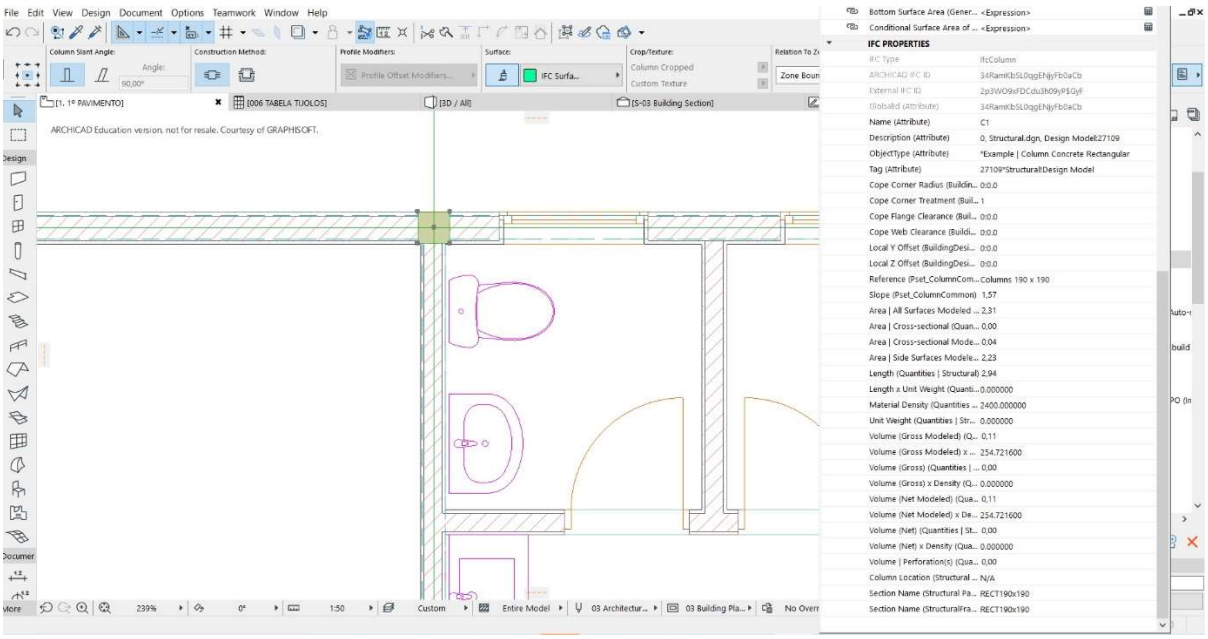
Figura 26 - Modelo estrutural importado no ArhiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Conforme as seguintes figuras 27 em tamanho ampliado no anexo D e 28, verifica-se que durante a análise do modelo estrutural dentro da ferramenta ArchiCAD, não houve perda de informação gráfica durante a importação do modelo, entretanto não foi possivel realizar a compreensão acerca dos materiais utilizados na adoção da solução para estruturas, podendo assim gerar conflitos entre os modelos no caso de interferências e extração de quantitativos. De acordo com figura 27, é possivel analisar que lajes e vigas do modelo não possuem sua definição de material, como mostra a seguinte imagem.

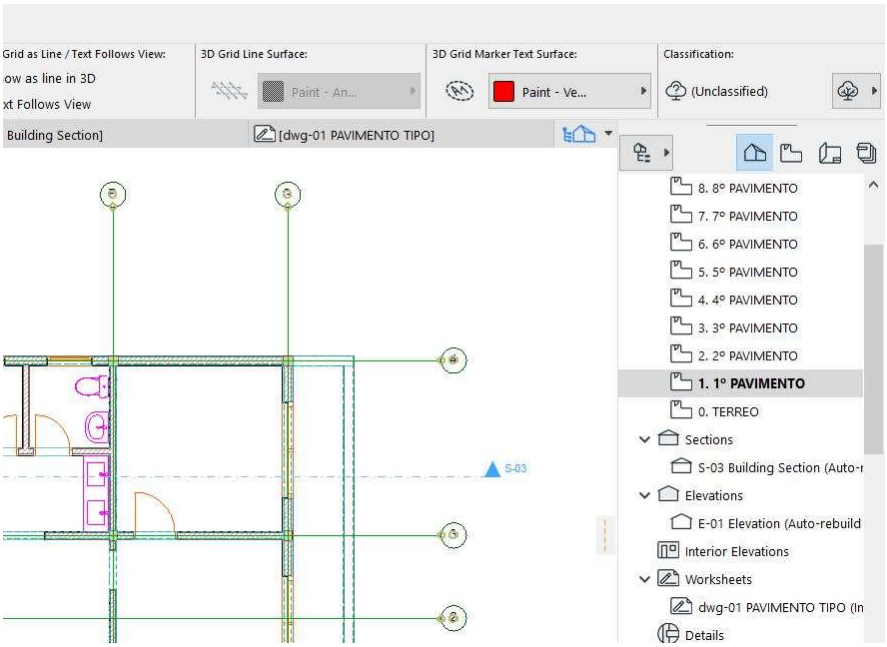
Figura 27 - Dados importados das colunas estruturais no ArchiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Outro problema encontrado foi a não classificação de determinados elementos como o sistema de “GRID” criado dentro do modelo estrutural, conforme figura 28. Apesar de não representar um problema grave isso demonstra a necessidade de desenvolvimento do mapeamento de classes IFC para cada fluxo de trabalho evitando assim que a não classificação do elemento ocorra ou o mesmo seja classificado de forma errônea.

Figura 28 - Elemento "GRID" importado sem classificação IFC

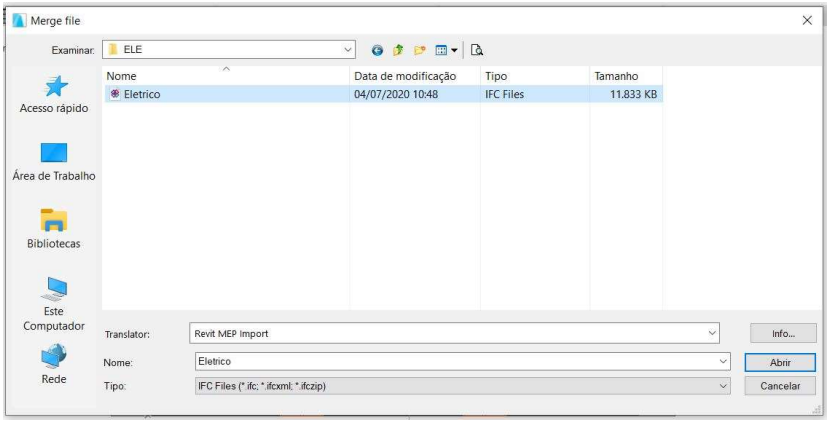


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.2.3 Interação modelo arquitetura e elétrico no ArchiCAD

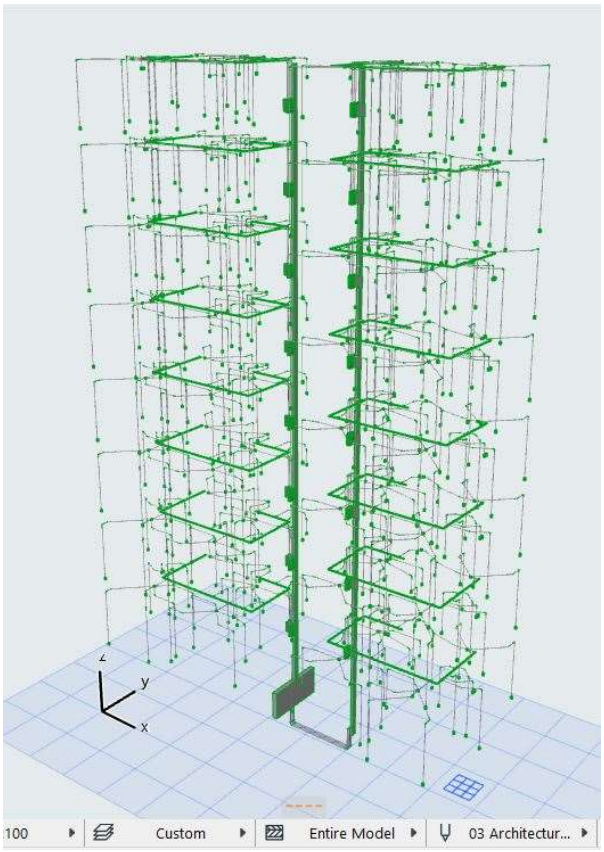
A interação entre os modelo arquitetônicos e elétrico dentro da ferramenta ArhiCAD ocorreu através da importação do modelo elétrico através do esquema IFC, por intermédio do tradutor nativo da ferramenta ArchiCAD e suas configurações de mapeamentos de classes IFC, denominado Revit MEP import, de forma que apresenta um fluxo mais concordante entre as duas ferramentas de modelagem. É importante salientar que nenhuma configuração adicional foi realizada para a importação do modelo, conforme figura 29 em tamanho ampliado no anexo D, sendo o resultado da importação do modelo elétrico no ArchiCAD demonstrado na figura 30.

Figura 29 - Configurações para importação do modelo elétrico



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 30 - Modelo elétrico importado no ArchiCAD

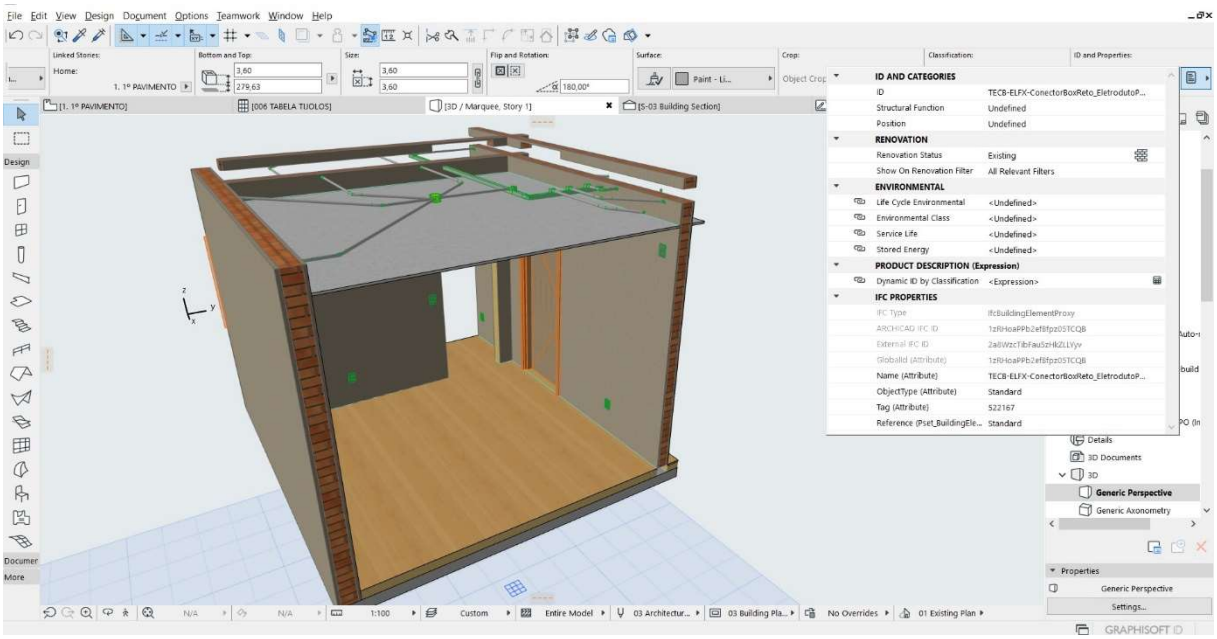


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Conforme a seguinte imagem verifica-se que a importação do modelo elétrico para o software ArchiCAD com as respectivas configurações citadas anteriormente ocorreram de forma idônea sem apresentar falhas com as representações gráficas, entretanto ao avaliar as informações de dados importados verifica-se que apesar do tradutor ter importado as

informações requisitadas, a qualidade com que as informações estavam sendo repassadas poderiam prejudicar o entendimento dos elementos adotados, conforme figura 31 em tamanho ampliado no anexo D.

Figura 31 - Detalhes do modelo elétrico no ArchiCAD



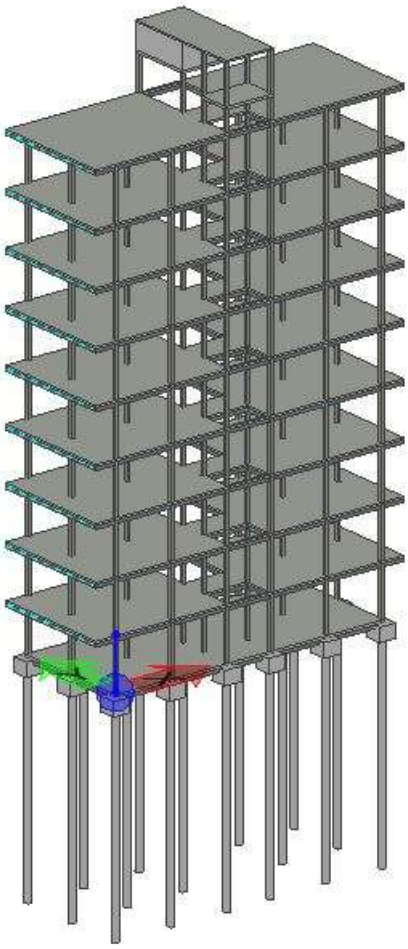
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.3 MODELO ESTRUTURAL

O modelo estrutural desenvolvido para o objeto de estudo foi originado a partir do modelo arquitetônico desenvolvido com a ferramenta ArchiCAD e exportado através do padrão IFC em sua versão 2x3, através da ferramenta de modelagem da empresa Bentley® com o software Openbuilding, conforme figura 32 em tamanho ampliado no anexo B, desta forma foram modelados com o referido software elementos estruturais como estacas de fundação, blocos de coroamento, vigas baldrames, lajes estruturais, vigas, pilares e paredes de concreto, sendo que todos os elementos são caracterizados como elementos de concreto armado.

O dimensionamento da estrutura não foi executado por não se tratar parte fundamental do objeto de estudo que pretende avaliar a interoperabilidade e grau de confiança durante os processos de comunicação entre softwares de modelagem BIM, assim como apresentar uma estimativa de quantitativos e realizar comparação entre estes após referida comunicação entre softwares com intuito de analisar se estes encontram-se sem perdas de informação.

Figura 32 - Modelo estrutural no software Openbuildings



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Para esta modelagem estrutural foram utilizados as famílias e elementos padrões existentes dentro do software, sendo necessários somente ajustes com relação as dimensões destes elementos, conforme a tabela 7 de elementos criados.

Tabela 7 – Elementos criados no modelo estrutural

(continua)

PILARES			
ELEMENTO	MATERIAL	COMPRIMENTO	LARGURA
Pilar	Concreto	190mm	190mm
Pilar	Concreto	200mm	150mm

Tabela 7 – Elementos criados no modelo estrutural

(continuação)

VIGAS			
ELEMENTO	MATERIAL	COMPRIMENTO	LARGURA
Viga	Concreto	200mm	190mm
Viga	Concreto	200mm	140mm
Viga	Concreto	190mm	190mm
Viga baldrame	Concreto	200mm	200mm

BLOCOS DE COROAMENTO				
ELEMENTO	MATERIAL	COMPRIMENTO	LARGURA	ALTURA
Bloco de coroamento	Concreto	1000mm	1000mm	800mm

ESTACAS DE FUNDAÇÃO			
ELEMENTO	MATERIAL	DIAMETRO	ALTURA
Estaca fundação	Concreto	400mm	1200mm

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Com estes elementos devidamente criados e configurados dentro do programa, a modelagem foi executada sem maiores problemas, obtendo ao seu término os seguintes quantitativos de materiais, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Quantitativo extraído no modelo estrutural

ELEMENTO	MATERIAL	SEÇÃO	VOLUME
Laje	Concreto		166,15 m³
Pilar	Concreto	190x190mm	14,99 m³
Pilar	Concreto	200x150mm	4,00 m³
Viga	Concreto	200x190mm	5,60 m³
Viga	Concreto	200x140mm	21,89 m³
Viga	Concreto	190x190mm	0,64 m³
Viga baldrame	Concreto	200x200mm	2,61 m³
Bloco coroamento	Concreto	1000x1000x800mm	14,40 m³
Estaca fundação	Concreto	Ø400mm	27,14 m³

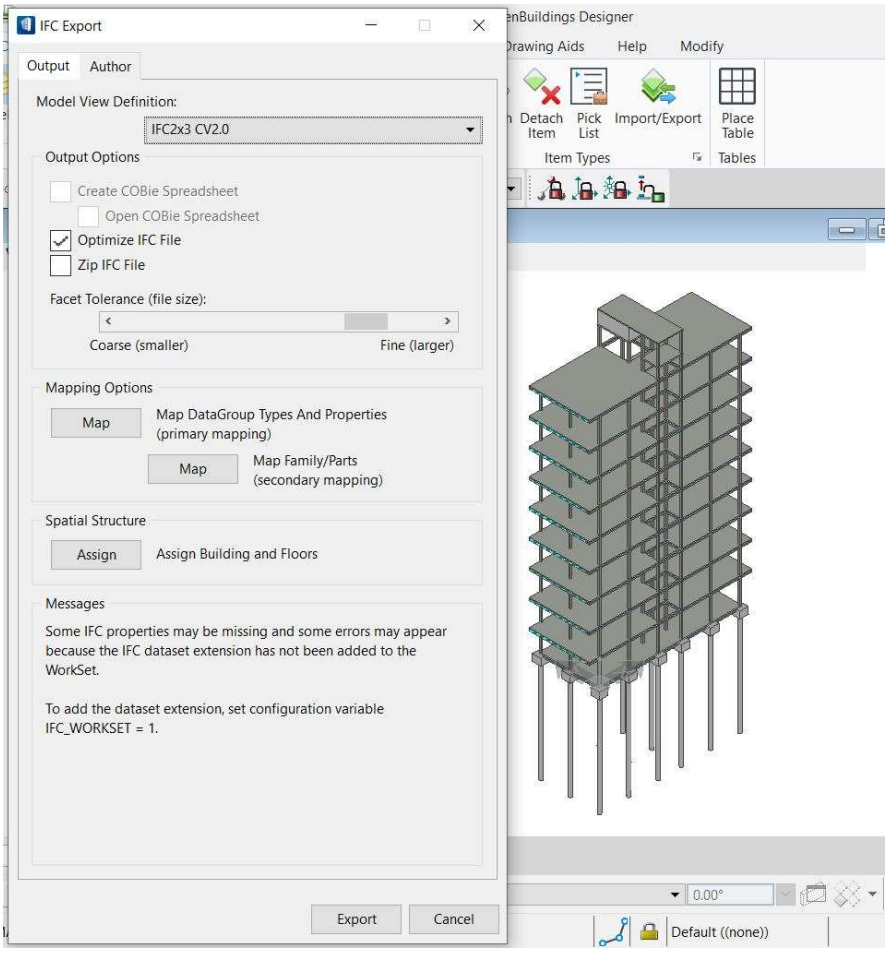
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.3.1 Exportação IFC do modelo estrutural

A comunicação do modelo estrutural modelado dentro do software Openbuilding, com as disciplinas utilizadas neste trabalho, é parte fundamental pois a partir da solução adotada é criado toda uma estrutura utilizada para a fundamentação da edificação com base na arquitetura projetada.

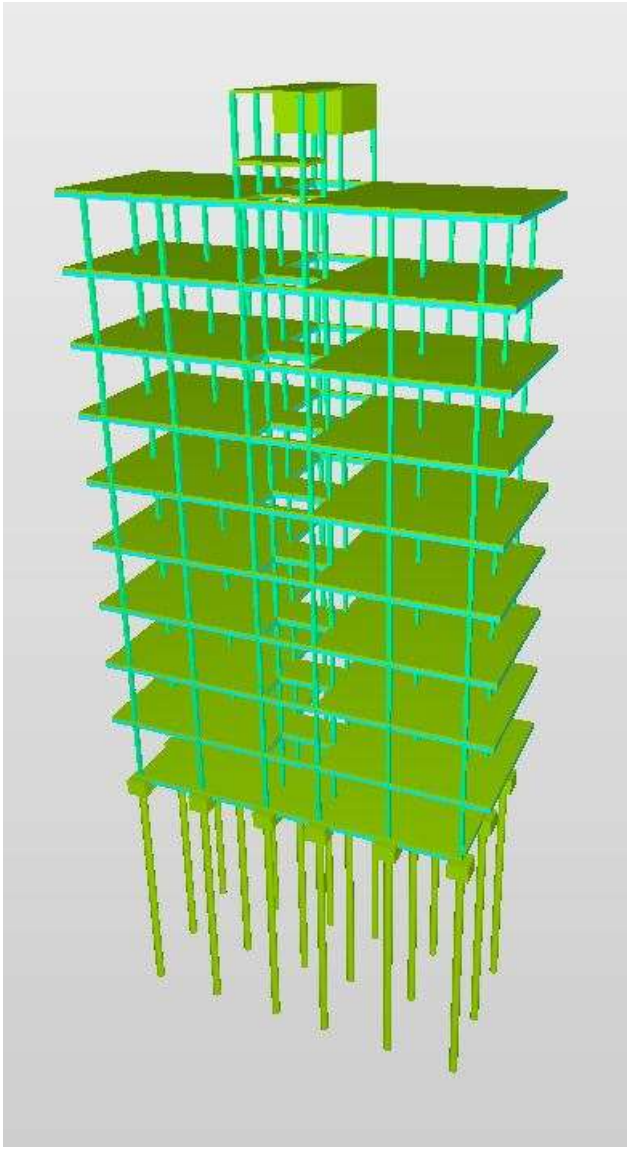
Conforme figura 33, a exportação deste modelo ocorreu através de tradutores existentes dentro do software utilizando do esquema IFC em sua versão 2x3 através do tradutor MVD IFC 2x3 Coordination view 2.0 não apresentando nenhum problema ao realizar o processo, desta forma o referido tradutor representa um esquema padrão genérico reconhecido pela BuildingSMART em suas certificações que visa exportar e comunicar qualquer modelo desenvolvido em software certificado e reconhecido pela organização para o padrão IFC em sua versão 2x3. A figura 34 demonstra o resultado final da exportação no Solibri.

Figura 33 - Configurações de exportação do modelo estrutural no Openbuildings



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 34 - Modelo estrutural importado no Solibri



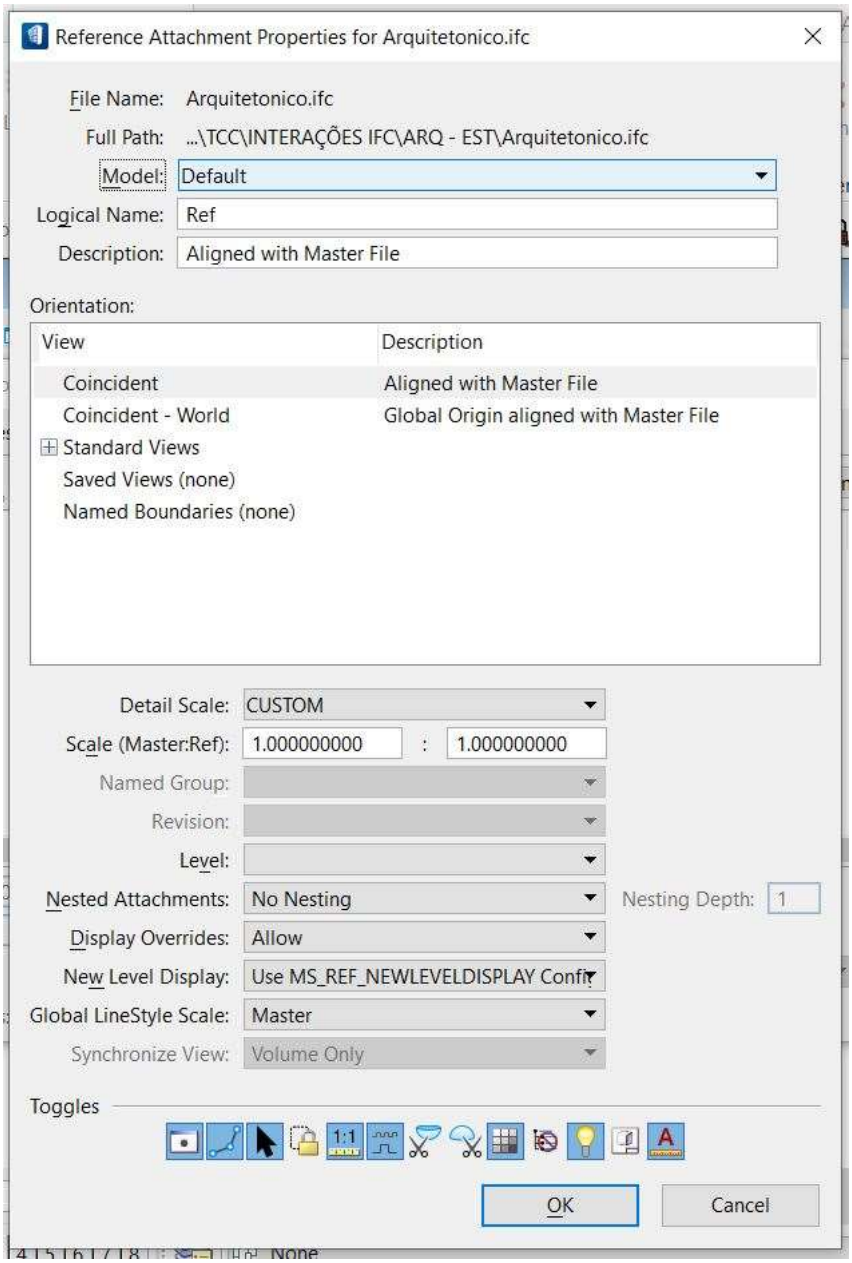
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

A comunicação deste modelo se faz necessário uma vez que pode causar interferência e sobreposição de elementos de construção entre os diversos modelos existentes, como no caso de pilares de concreto armado com infraestrutura elétrica ou a interferência de janelas com vigas da estrutura, sendo extremamente fundamental para a realização de relatórios de interferências, conhecidos como “clash detections”, em softwares próprios para gerenciamento do modelo, ou até mesmo dentro do próprio software nativo.

3.3.2 Interação modelo estrutural e arquitetura no Openbuilding

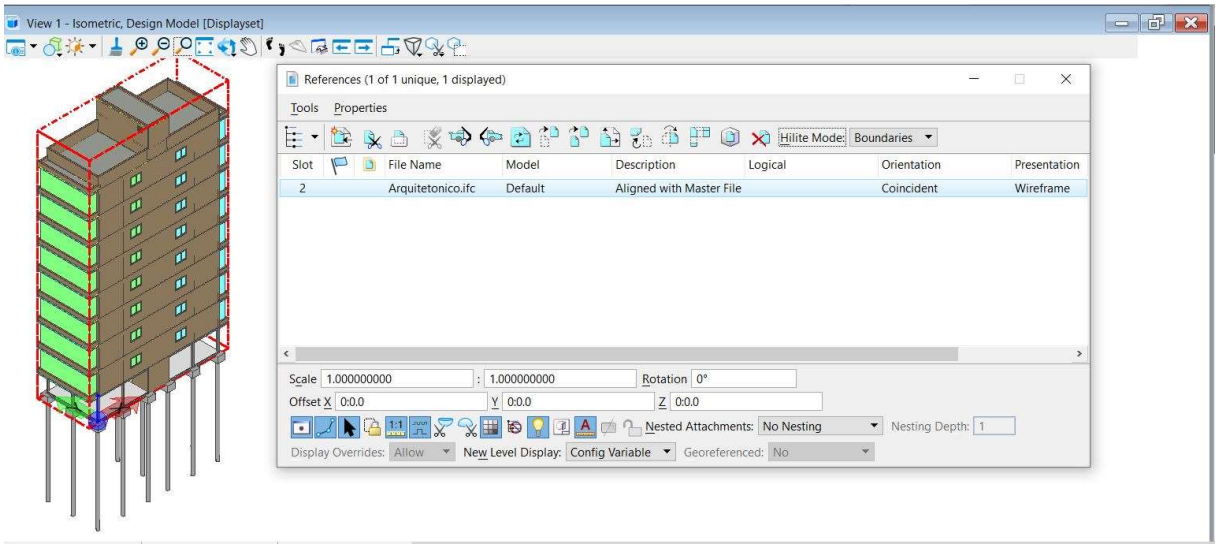
A importação do modelo arquitetônico para o software de modelagem estrutural ocorreu de forma padronizada através da ferramenta “REFERENCES” dentro do software Openbuilding, com as seguintes características conforme figuras 35 e 36 em tamanho ampliado no anexo D.

Figura 35 - Configuração de importação do modelo arquitetônico no Openbuildings



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 36 - Modelo arquitetônico referenciado dentro do Openbuildings.

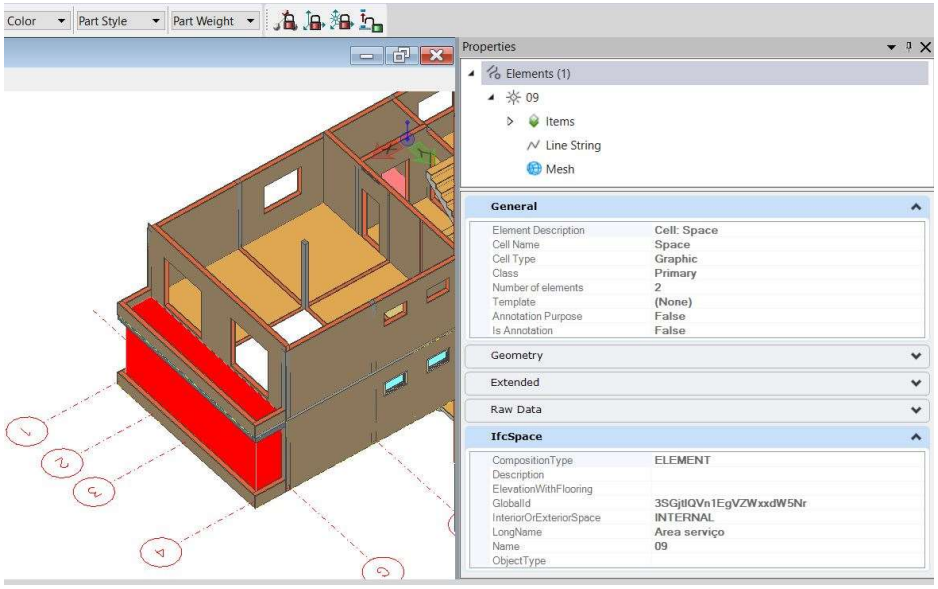


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Ao iniciar a modelagem estrutural com referência ao modelo arquitetônico, foram evidenciados alguns problemas de falha de importação de informações no quesito gráfico, conforme demonstram as seguintes imagens.

Conforme figura 37 em tamanho ampliado no anexo D, é possivel verificar que algumas paredes que delimitam os espaços graficamente não foram exportadas de forma correta prejudicando assim a forma como a modelagem estrutural foi desenvolvida, pois existe a necessidade do conhecimento desta informação e sua veracidade.

Figura 37 - Elementos arquitetônicos não importados no Openbuildings.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Na referida figura, também verifica-se que as esquadrias não foram exportadas corretamente, sendo que somente sua abertura é visualizada graficamente, sem nenhum dado ou informação sobre seu uso. Outro fator que é possivel analisar nesta imagem é a correta exportação das áreas (zonas) criadas dentro do modelo arquitetônico, sendo possivel assim o entendimento do espaço e sua função para cálculo estrutural.

Conforme figuras 38 e 39 , um detalhe importante é que foram necessários alguns ajustes no modelo arquitetônico, para especificar um ponto de origem em comum para as devidas modelagens, sendo que este ponto é denominado de “Project Base Point” e sem ele seria praticamente impossível o alinhamento de todas os modelos em um único arquivo.

Figura 38 - Alinhamento do project base point com o modelo arquitetônico

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

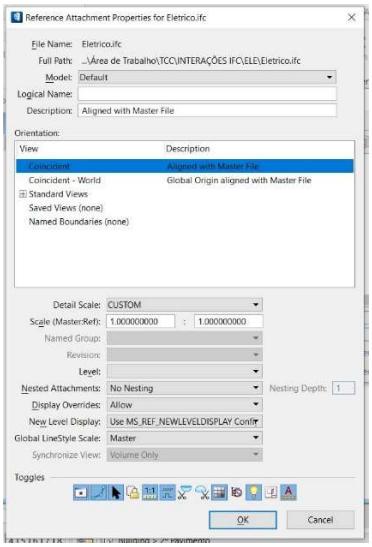
Figura 39 - Desalinhamento do project base point com o modelo arquitetônico.

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.3.3 Interação modelo estrutural e elétrico no Openbuilding

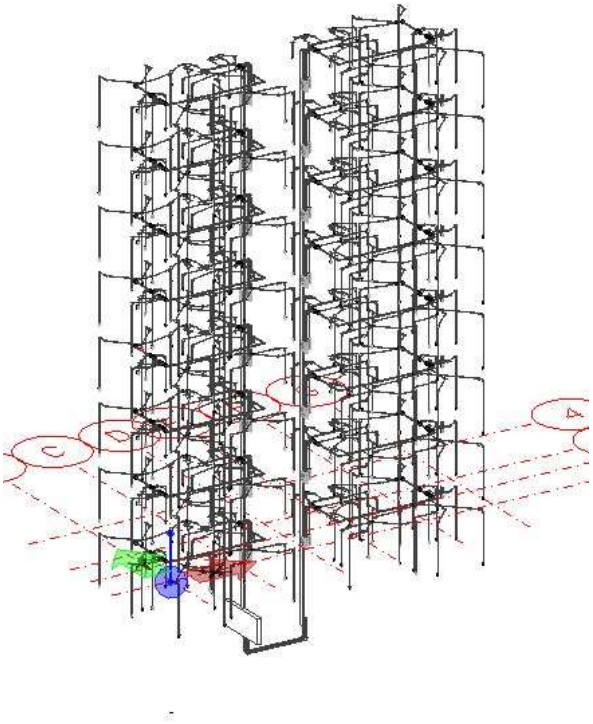
A interação entre o modelo elétrico e estrutural dentro da ferramenta Openbuilding, ocorreu de forma análoga a interação entre os modelos de estrutura e arquitetura, onde ambos foram importados através do esquema IFC em sua versão 2x3, através da ferramenta “REFERENCES” no software Openbuildings, com as características conforme figura 40 em tamanho ampliado no anexo D . Ao término da importação foi possível verificar o modelo elétrico, completamente traduzido no Openbuildings, conforme figura 41.

Figura 40 - Configuração de importação do modelo elétrico no Openbuildings.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

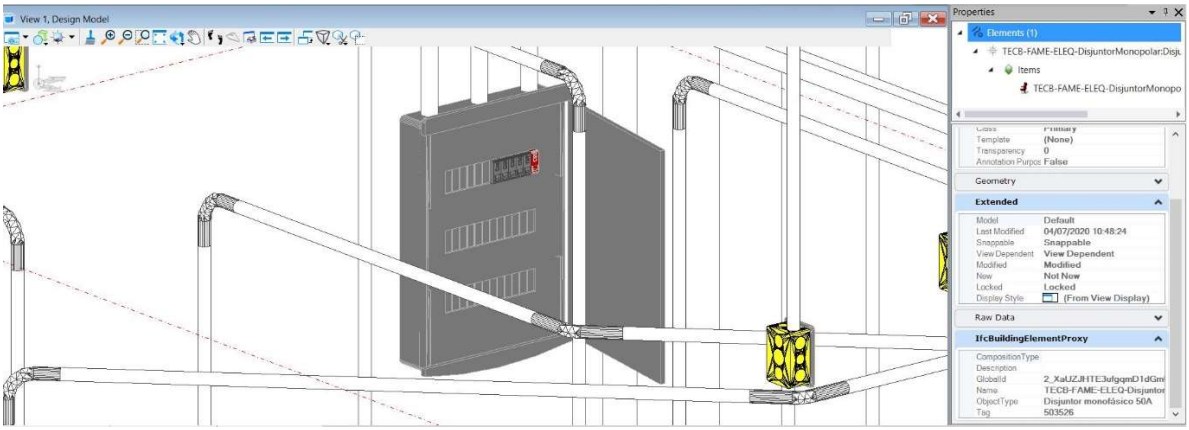
Figura 41 - Modelo elétrico importado no Openbuildings.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Durante a análise da interação entre os modelos eletricos e estrutural foi possivel analisar que não houve perda de informação gráfica durante a troca de informações dos modelos, facilitando o entendimento das soluções adotadas, entretanto conforme figura 42, apesar de não ocorrer a perda de informações de dados durante esta troca a qualidade com que as informações foram apresentadas dificulta a análise das soluções, pois o usuário de certa forma a cada elemento deve buscar esta informação para seu entendimento e compreensão.

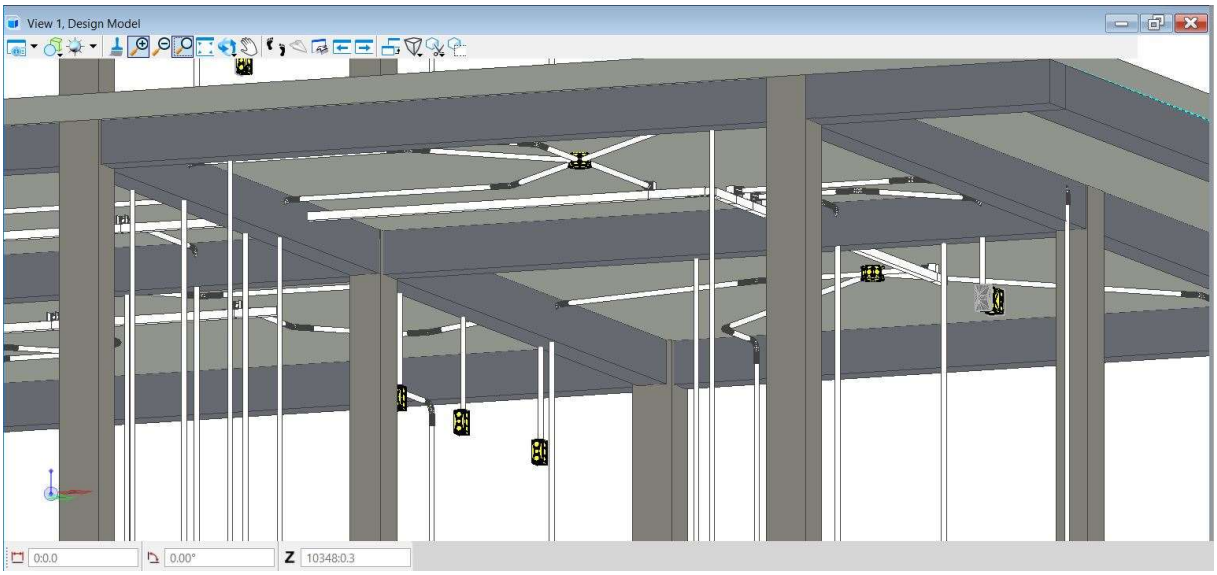
Figura 42 - Detalhes da importação do modelo elétrico no Openbuildings.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Com esta análise foi possivel verificar todos as interferências existentes entre os modelos elétrico e estrutural, conforme figura 43, possibilitando remanejamento dos elementos de infraestrutura eletrica ou até mesmo criando pontos de furação entre lajes ou vigas, conforme seguinte imagem.

Figura 43 - Interferências existentes entre os modelos elétrico e estrutural.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.4 MODELO ELÉTRICO

O desenvolvimento do modelo elétrico para objeto de estudo deste trabalho, foi originado a partir da orientação do modelo arquitetônico desenvolvido com a ferramenta ArchiCAD e o modelo estrutural desenvolvido com a ferramenta Openbuildings, sendo que

ambos foram importados através do esquema IFC para a ferramenta de modelagem da construção Revit.

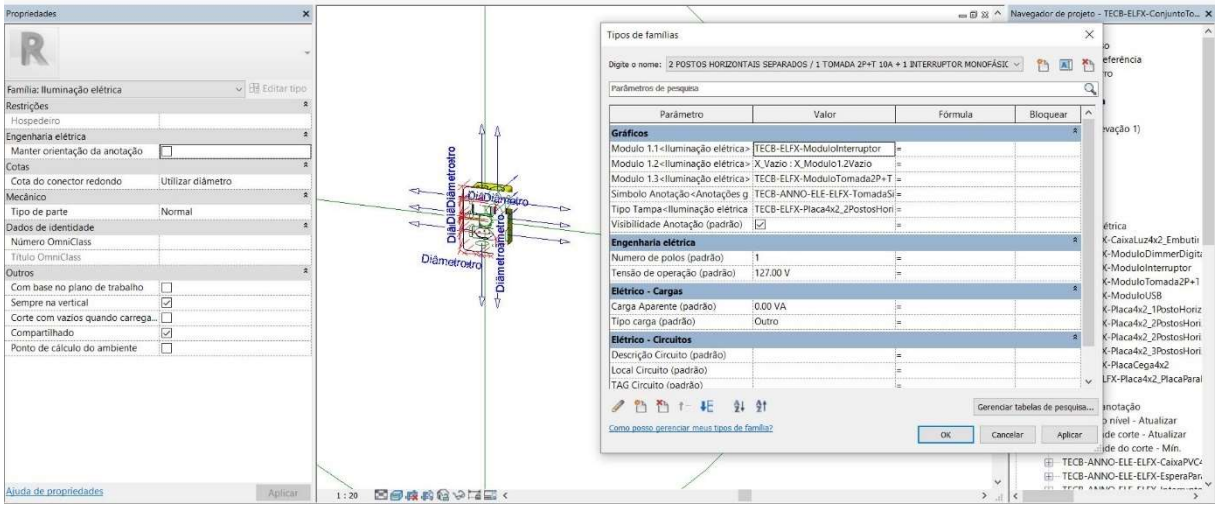
Durante a elaboração e modelagem do modelo pertencente a disciplina elétrica, foram necessários a importação de bibliotecas, pois a ferramenta não disponibiliza famílias com as necessidades do mercado brasileiro, sendo assim foram desenvolvidas algumas famílias como caixas de tomadas, conectores, quadros de distribuição e adaptadores para infraestrutura para desenvolvimento do modelo, conforme tabela 9. A figura 44 em tamanho ampliado no anexo D, demonstra o desenvolvimento da uma família de caixa de tomadas dentro do ambiente "editor de famílias" no software Revit.

Tabela 9 - Conjunto de famílias desenvolvidas no Revit

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Electrical Fixtures	Conjunto de tomadas modulares elétrica
Electrical Fixtures	Disjuntores monofásicos
Electrical Equipments	Quadros de distribuição elétrica
Cable Tray fixtures	Acessórios para infra estrutura de distribuição

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 44 - Família de tomadas desenvolvida no Revit

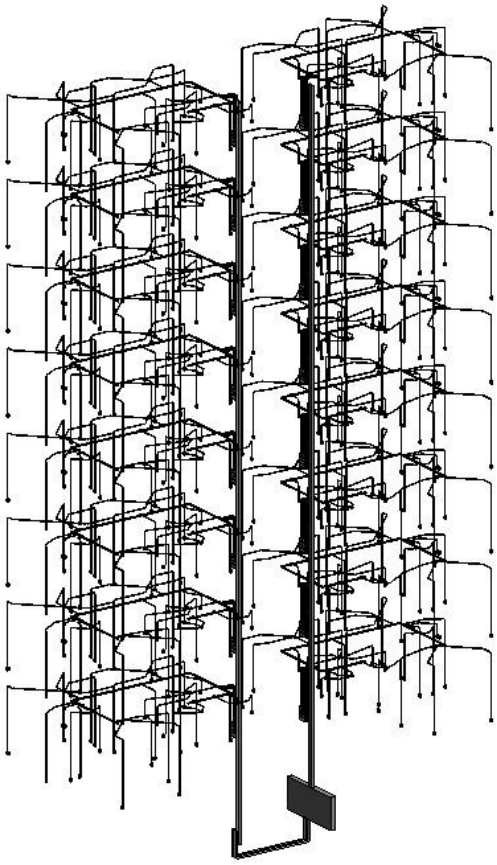


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

O modelo em questão, conforme figura 45 em tamanho ampliado no anexo B, abrange somente a estrutura interna da edificação e seus ambientes, não sendo desenvolvido o modelo para a estrutura externa e condominial desta. O dimensionamento elétrico, por não se

tratar do objeto de estudo, também não foi executado pois a ferramenta Revit apesar de executa-lo o faz de maneira simplista sendo necessário auxilio de outras ferramentas para realizar seus cálculos de uma forma completa.

Figura 45 - Modelo elétrico no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Ao finalizar o desenvolvimento do modelo elétrico foram extraídas as informações necessárias para posterior comparação com a ferramenta Navisworks, conforme tabela 10.

Tabela 10 - Quantitativo elétrico realizado na ferramenta Revit

(continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADES
1	Eletrocalha / GE / Tipo U / Chapa #16 200x100mm	mt	52,40
2	Perfilado metalico simples / Chapa #14 38x38mm	mt	193,20
3	Eletroduto flexível corrugado / Tipo B / leve Ø25mm	mt	1261,00

Tabela 10 – Quantitativo elétrico realizado na ferramenta Revit

(continuação)

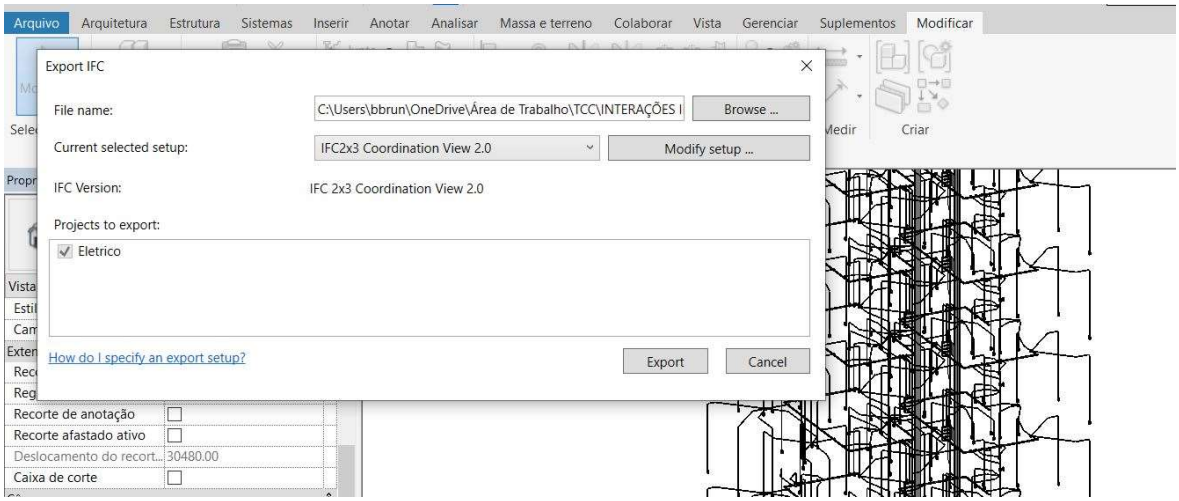
4	Eletroduto flexível corrugado / Tipo B / leve Ø32mm	mt	80,60
5	Eletroduto PEAD flexível corrugado Ø 2 1/2"	mt	13,20
6	Junção interna "L" para perfilado	un.	48,00
7	Saída lateral simples perfilado para eletroduto	un.	256,00
8	Conector box reto	un.	256,00
9	Caixa de luz 4x2"	un.	448,00
10	Caixa octogonal com fundo removível	un.	96,00
11	Placa 4x2" modular com 2 postos separados	un.	336,00
12	Placa 4x2" modular com 1 posto horizontal	un.	48,00
13	Modulo interruptor monofásico simples 10A	un.	208,00
14	Modulo tomada 2P+T 10A	un.	528,00
15	Quadro distribuição disjuntores 27/36 disjuntores	un.	16,00
16	Quadro medição para 21 medidores	un.	1,00
17	Disjuntor monofásico 16A	un.	16,00
18	Disjuntor monofásico 20A	un.	64,00
19	Disjuntor monofásico 50A	un.	16,00

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.4.1 Exportação IFC do modelo elétrico

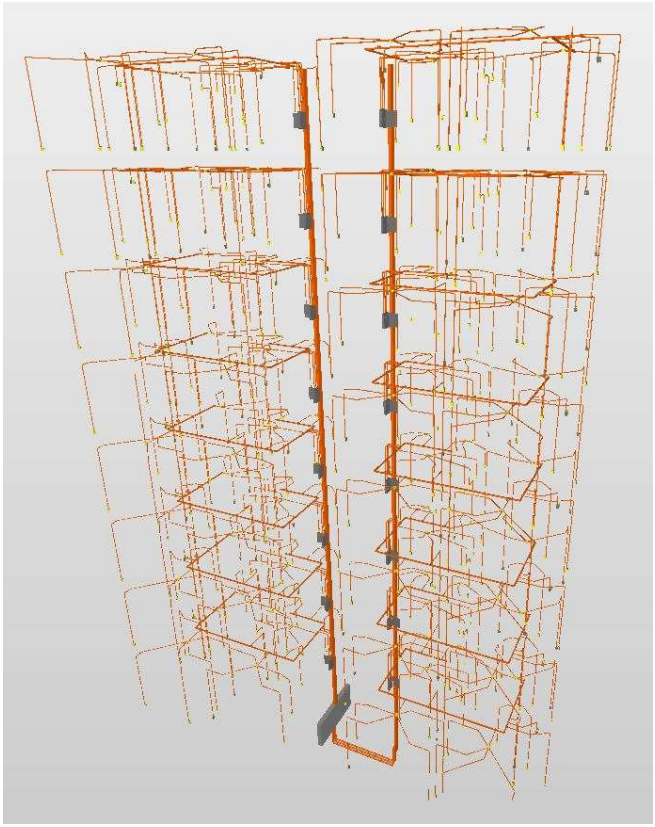
A exportação do modelo elétrico para comunicação com as outras ferramentas, ocorreu através do esquema IFC em sua versão 2x3, por intermédio do MVD IFC 2x3 Coordination View 2.0 nativo do software Revit sem nenhuma alteração realizada na configuração do tradutor, conforme figura 46. Devido tradutor foi escolhido pois visa a coordenação entre os modelos arquitetônicos, estruturais e complementares durante o processo de desenvolvimento do projeto, conforme especifica a BuildingSMART, além de estar certificado pela organização. A término da exportação foi possivel averiguar a troca de informações a partir do software Solibri, conforme figura 47.

Figura 46 - Configuração de exportação do modelo elétrico



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 47 - Modelo elétrico importado no Solibri



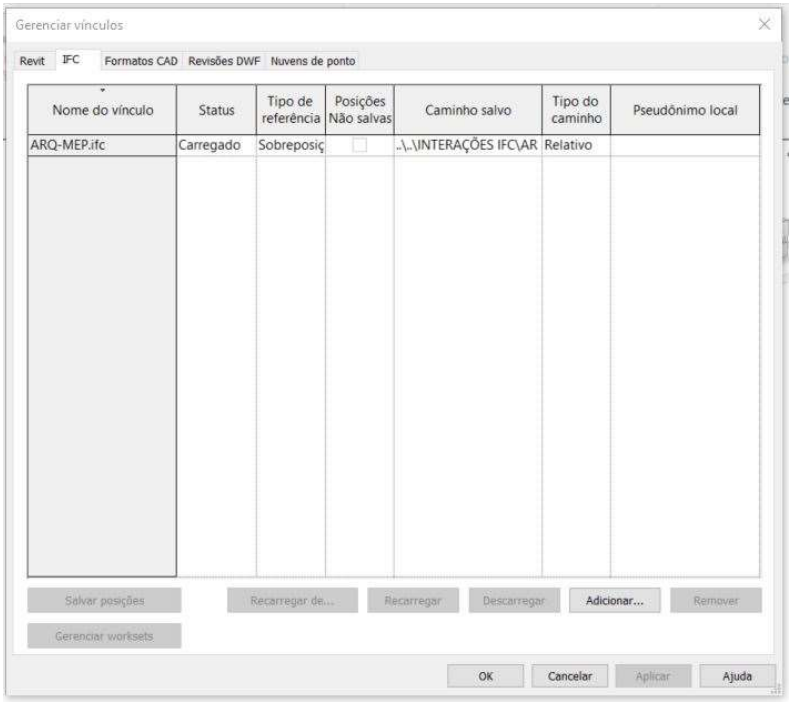
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.4.2 Interação modelo elétrico e arquitetura no Revit

A comunicação entre os modelos elétrico e arquitetura ocorreu através da importação do modelo arquitetônico dentro da ferramenta Revit através do esquema IFC em

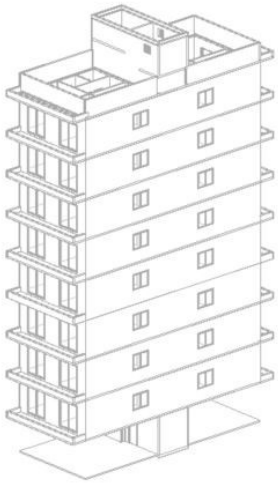
sua versão 2x3 por intermédio da ferramenta de gerenciamento de vínculos, onde foi adicionado o modelo IFC de arquitetura, conforme figura 48. Ao realizar a importação, a ferramenta Revit não disponibiliza nenhuma modelo ou esquema de importação adaptado ao fluxo como a ferramenta ArchiCAD disponibiliza ao realizar a importação dos modelos. Conforme figura 49, é possivel verificar o modelo arquitetônico importado dentro da ferramenta Revit.

Figura 48 - Importação do modelo arquitetônico no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 49 - Modelo arquitetônico importado no Revit

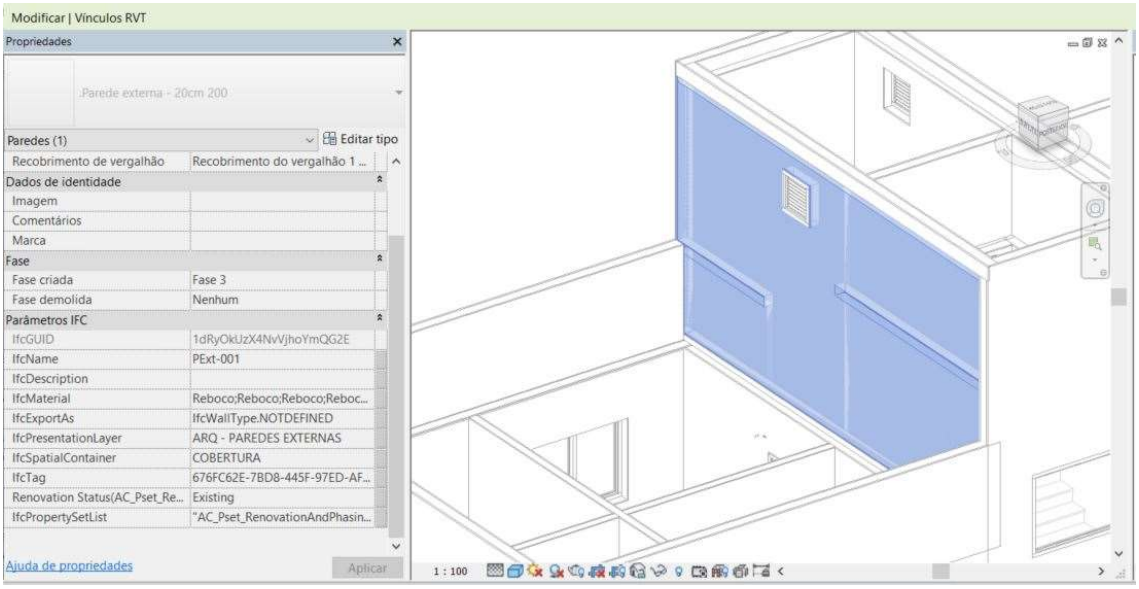


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Ao realizar uma análise do modelo é possivel verificar que não houve perda de informação gráfica durante a importação, nem mesmo sua representação dentro da ferramenta apresentou falhas.

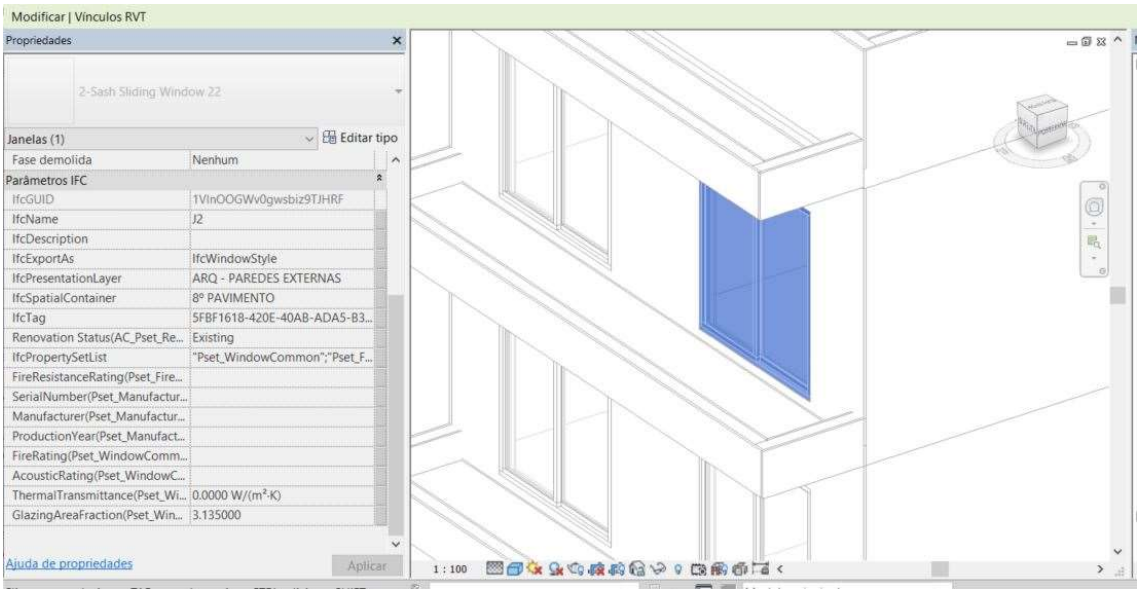
A importação dos dados foi realizada com sucesso não apresentando nenhuma perda de informação, entretanto a forma como as informações foram apresentadas deixa algumas dúvidas com relação ao tipo de material utilizado para as paredes e suas espessuras, conforme figura 50. No caso da importação dos dados de janelas, portas e aberturas muito pouca informação foi exportada deixando dúvidas com relação aos materiais adotados e sua estrutura, conforme figura 51.

Figura 50 - Detalhe das informações do elemento parede no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

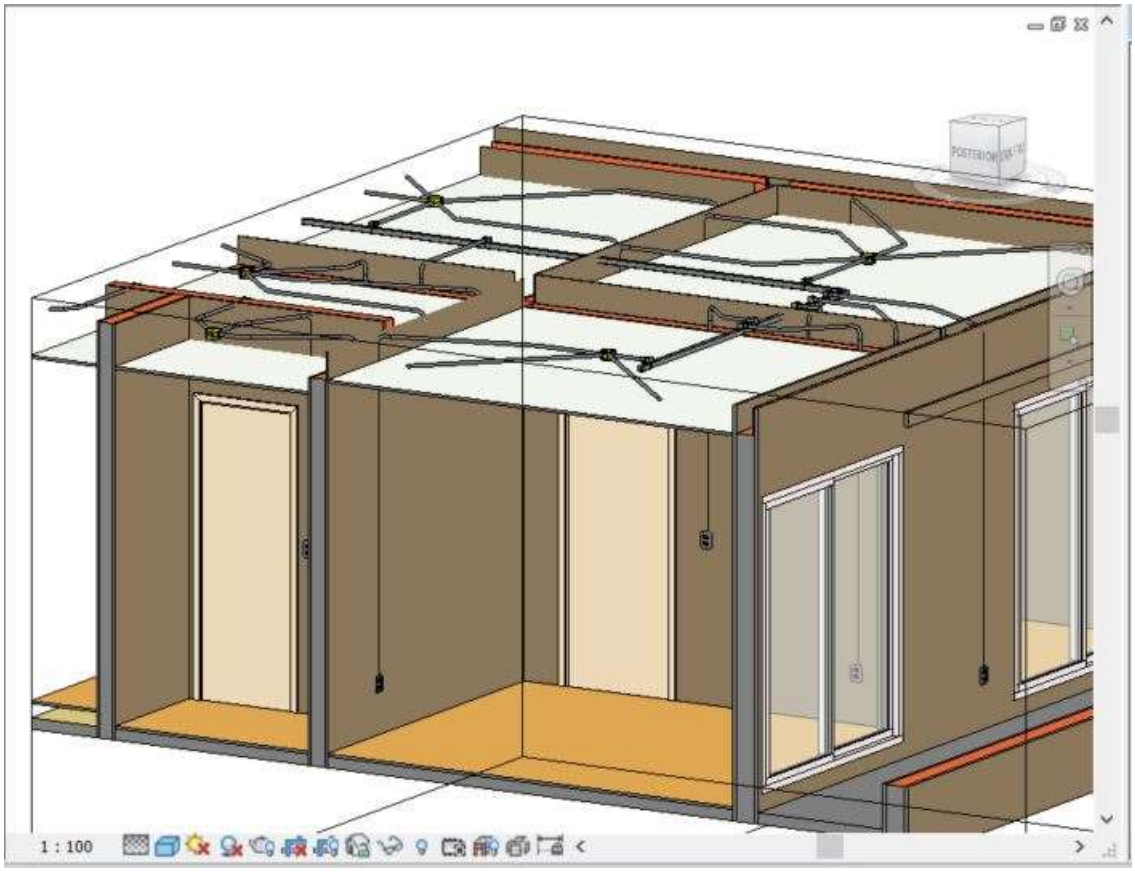
Figura 51 - Detalhe das informações do elemento janela no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

A partir da comunicação deste modelo arquitetônico e importação através do esquema IFC foi possivel avaliar de forma mais assertiva a solução adotada para a disciplina de eletrica, facilitando o posicionamento da infraestrutura necessárias, assim como as caixas de tomada e quadros elétricos, conforme figura 52.

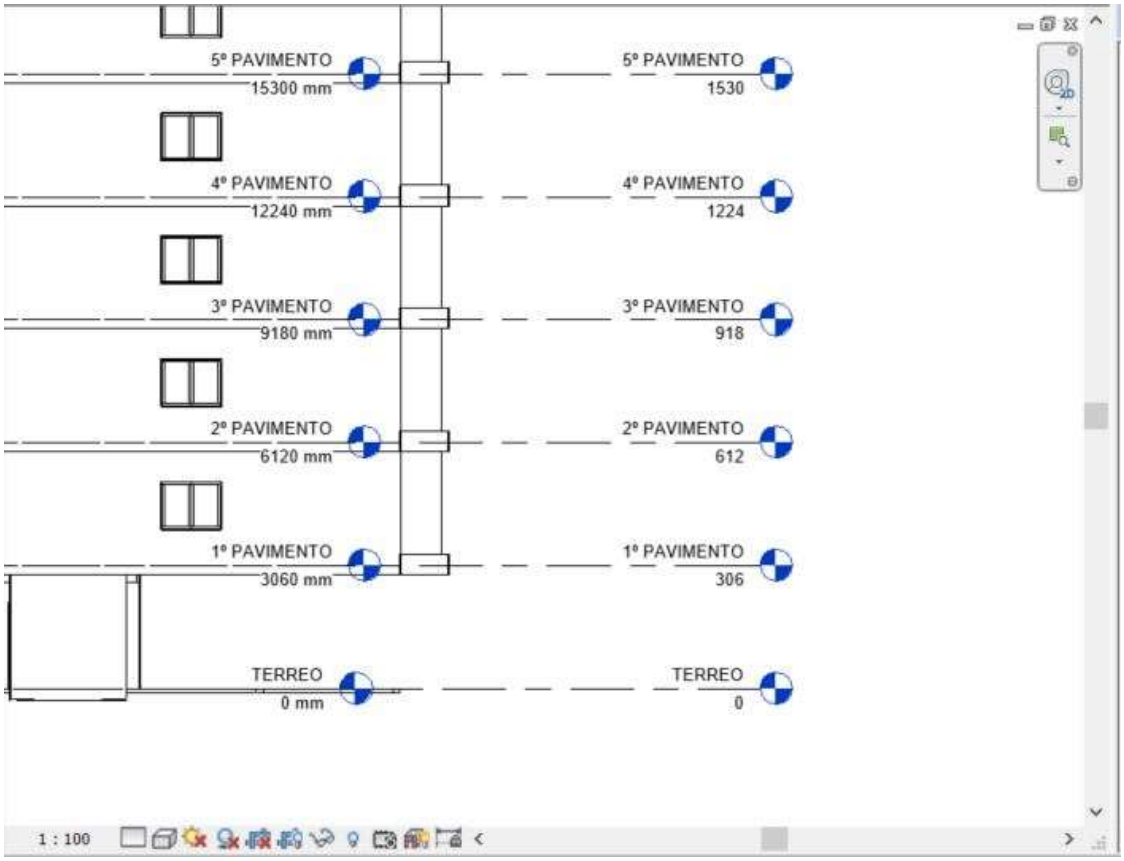
Figura 52 - Detalhe lançamento de infraestrutura no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Outro fator facilitador referente as informações gráficas do modelo importado foi a importação dos níveis do projeto, conforme figura 53, facilitando a criação e monitoramento dos níveis deste modelo, assim como a importação dos espaços (zonas) criadas no modelo arquitetônico, auxiliando para a determinação do uso de cada ambiente.

Figura 53 - Detalhe de importação do elemento "NIVEIS" no Revit

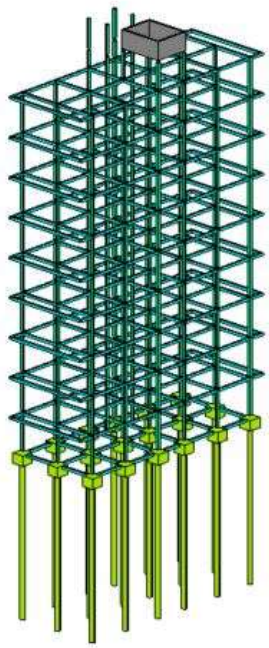


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.4.3 Interação modelo elétrico e estrutural no Revit

A comunicação utilizada para a interação entre os modelos elétrico e estrutural ocorreu por intermédio da importação do modelo estrutural dentro da ferramenta Revit pelo esquema IFC em sua versão 2x3, empregando o uso da ferramenta de gerenciamento de vínculos, conforme figura 54. Analisado anteriormente o software Revit não possui nenhum modelo ou esquema de importação de modelos IFC adaptado a fluxos entre softwares.

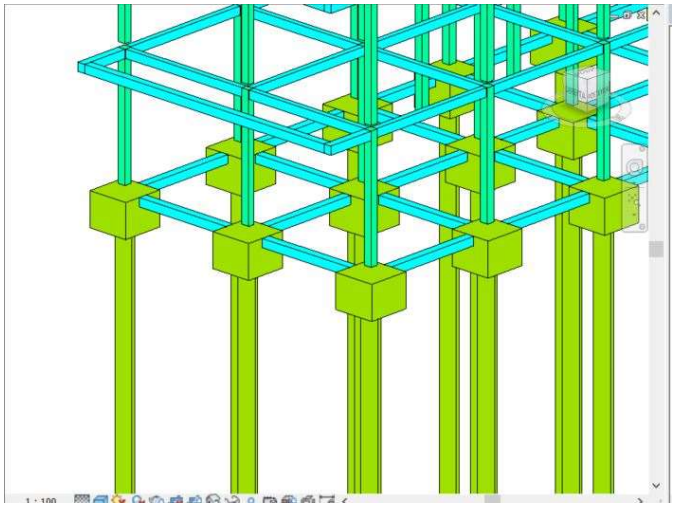
Figura 54 - Modelo estrutural importado no Revit



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Após a importação do modelo estrutural dentro da ferramenta de modelagem Revit foi possivel uma análise criteriosa, onde verificou-se que os elementos de piso (laje), não foram importados para o modelo, prejudicando demasiadamente o desenvolvimento da solução adotada a disciplina de elétrica, conforme mostra figura 55.

Figura 55 - Falha na importação do elemento laje

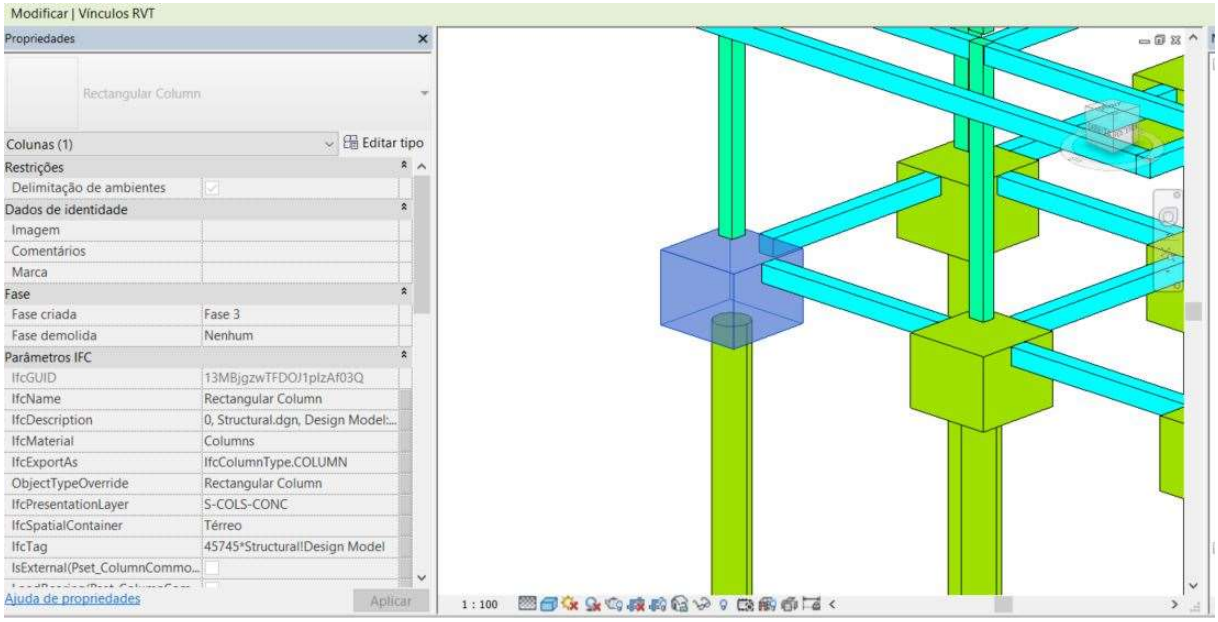


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Com relação as informações importadas do modelo estrutural, foi verificado divergências entre elementos de construção utilizados sendo que os blocos de coroamento desenvolvidos na ferramenta Openbuilding foram importados em desconformidade de classe IFC, sendo estes exportados como “IfcColumn” ao passo que deveriam estar classificados como “IfcFooting”. Outra informação analisada exportada de forma errônea foi o tipo de material utilizado para o elemento em questão, sendo que este estava classificado com material “Columns”, conforme figura 56.

Esta forma de classificação errônea, também foi observada para os elementos de fundação, onde as estacas de fundação foram classificadas como “IfcColumn” sem especificação de material, de forma que deveriam ter sido classificadas como “IfcFooting” e material concreto.

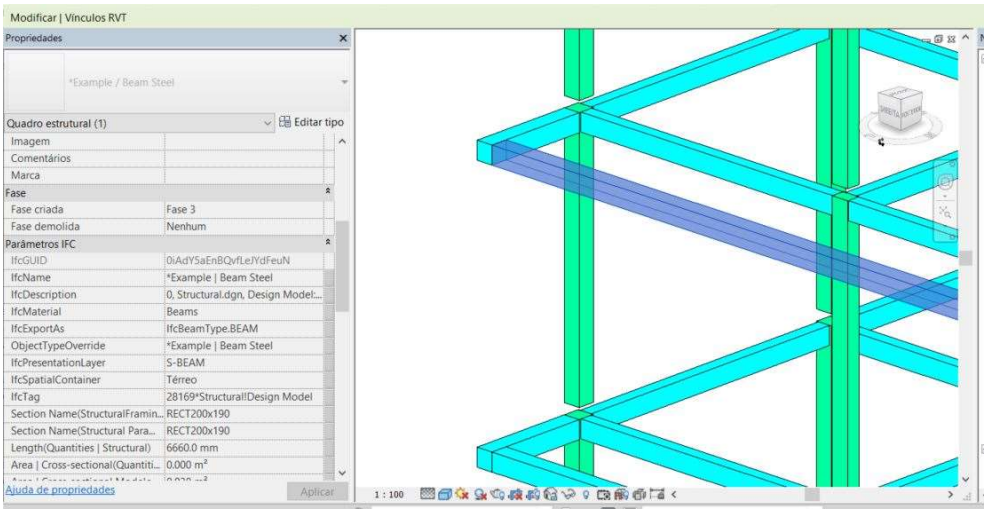
Figura 56 - Falha na classificação da classe do elemento IFC



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Outro elemento analisado durante a importação do modelo estrutural para a ferramenta Revit, foram as vigas modeladas no software Openbuilding, sendo que estas apresentaram uma classificação duvidosa com relação ao seu material e tipo, de forma que foram classificadas como vigas metálicas, dificultando o entendimento do projeto estrutural para uso durante a modelagem eletrica, conforme figura 57.

Figura 57 - Falha na classificação dos elementos vigas.



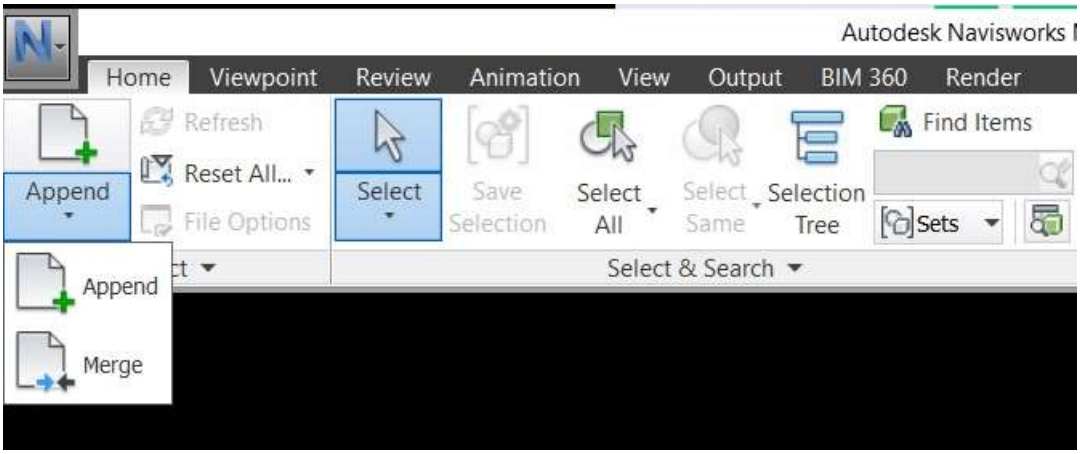
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

3.5 MODELO COMPATIBILIZADO

A federação e compatibilização dos modelos arquitetônico, estrutural e elétrico conforme objeto de estudo deste trabalho, realizou-se por intermédio da ferramenta da desenvolvedora Autodesk® Navisworks em seu versão 2020 educacional, entretanto para análise gráfica desta compatibilização os modelos também foram analisados pela ferramenta Solibri nativa da desenvolvedora Nemetschek®, em sua versão Solibri Anywhere que permite de forma gratuita a visualização gráfica de modelos gerados através do esquema IFC.

O processo de importação de diversos modelos interdisciplinares dentro da ferramenta Navisworks possui dois fluxos para federação dos arquivos e posterior compatibilização, conforme figura 58, sendo um utilizando o comando “Append” e outro através do comando “Merge”, onde o primeiro comando visa a importação de arquivos de forma a reter informações duplicadas e o segundo visa a importação dos arquivos excluindo as informações duplicadas caso ocorram geometrias duplicadas. Em nosso fluxo de federação do arquivo foi utilizado o comando “Merge” por excluir os possíveis elementos duplicados para posterior extração de quantitativos e comparação com os modelos desenvolvidos.

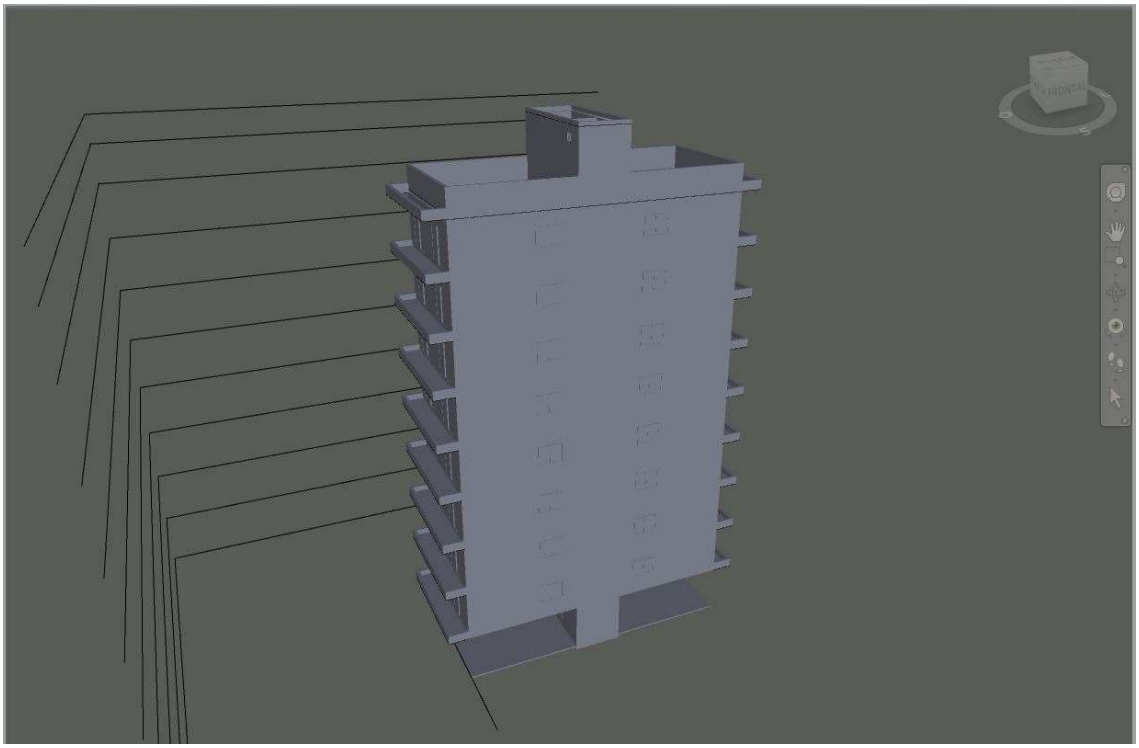
Figura 58 - Ferramentas utilizadas para importação dos modelos no Navisworks.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

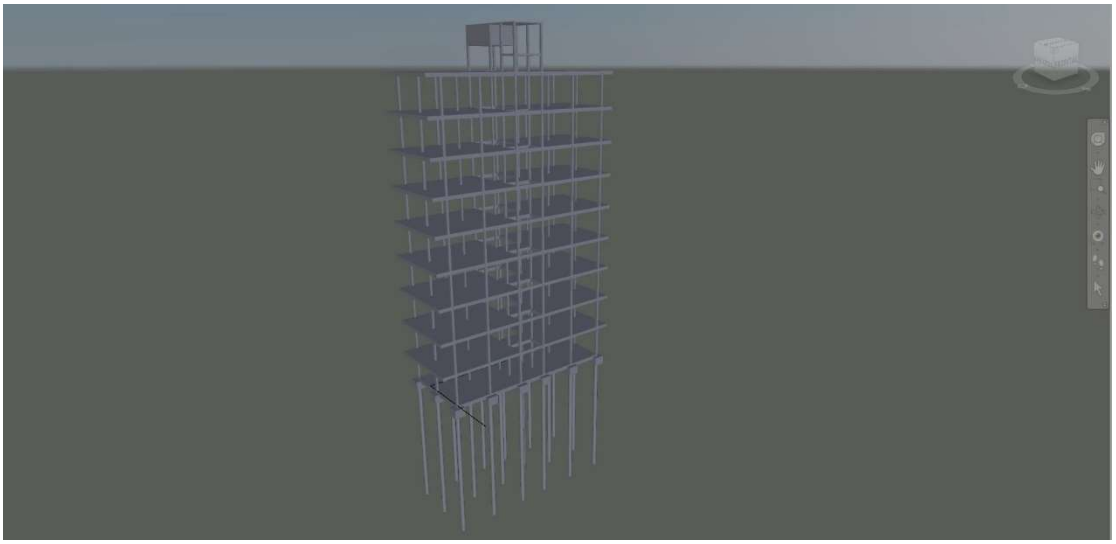
Conforme figuras 59, 60 e 61, os três modelos foram importados através do esquema IFC em que foram exportados, entretanto existe a possibilidade de importação de modelos desenvolvidos no Revit de forma direta em formato fechado nativo do Revit, porem como o objeto de estudo deste trabalho é focado no esquema IFC, estes modelos desenvolvidos no Revit também foram importados por intermédio do esquema IFC em que foram exportados. A figura 62 representa todos os modelos importados de forma federada dentro do Navisworks.

Figura 59 - Modelo arquitetônico importado no Navisworks.



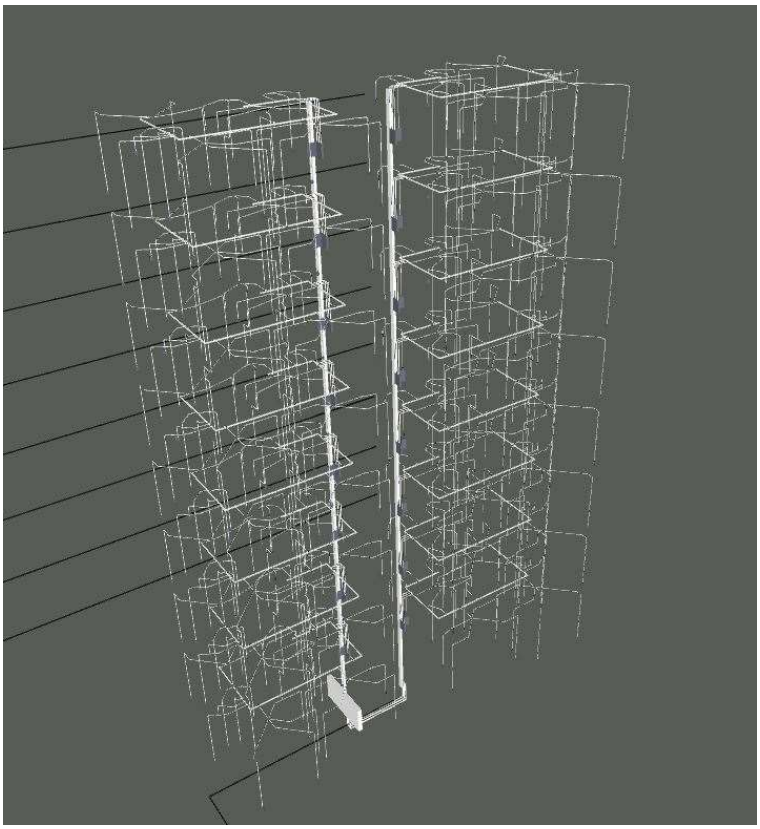
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 60 - Modelo estrutural importado no Navisworks



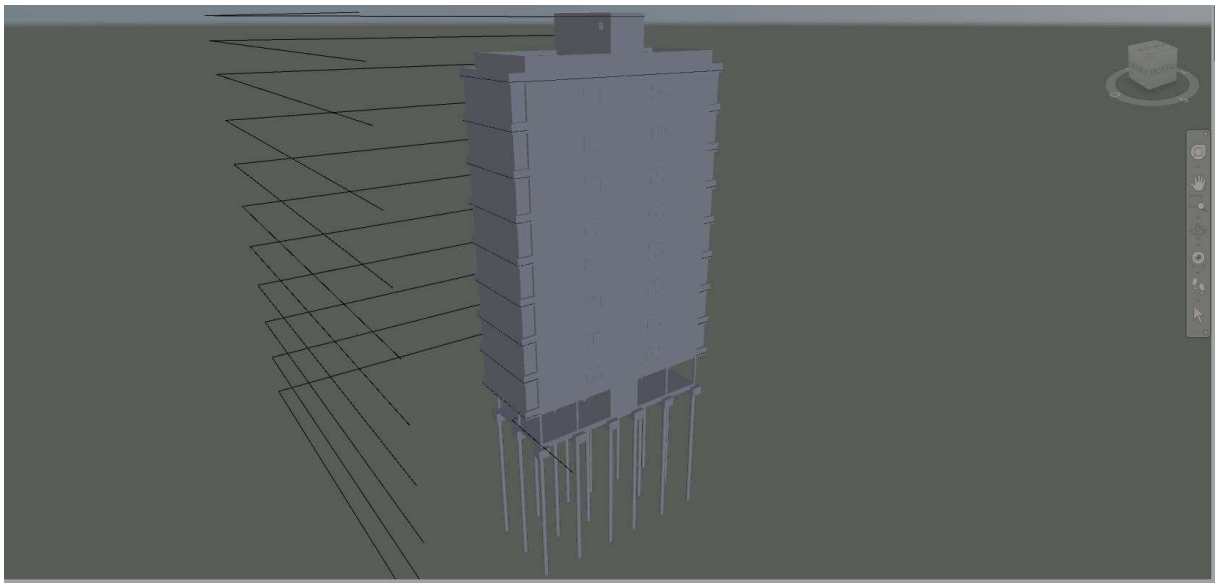
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 61 - Modelo elétrico importado no Navisworks.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 62 - Modelos federados no Navisworks



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

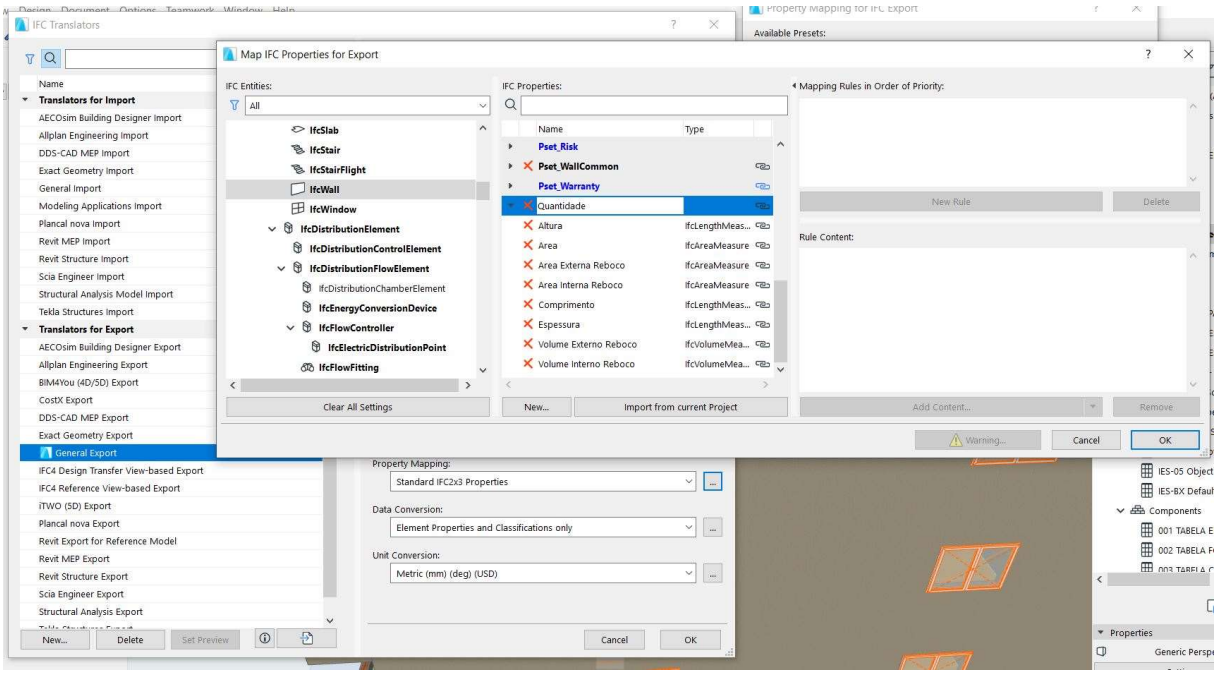
3.5.1 Extração dos quantitativos

A partir dos modelos federados dentro da ferramenta Navisworks, iniciou-se o processo de extração de quantitativos, e desta forma diversas alterações tiveram de ser feitas dentro dos arquivos originais desenvolvidos em cada ferramenta afim de extrair da forma mais assertiva e segura as informações dos modelos.

O modelo arquitetônico desenvolvido dentro da ferramenta ArchiCAD necessitou uma revisão dentro do mapeamento de atributos IFC exportados, conforme figura 63, pois nenhum atributo estava disponível para posterior extração de informações dentro da ferramenta Navisworks, sendo assim conforme figura 64, foram criados atributos objetivando a extração de quantitativos dos elementos modelados na ferramenta. A tabela 11 define as configurações criadas, em quais classes IFC estas foram exportadas.

O processo de mapeamento de atributos IFC visa inserir informações pertinentes ao modelo, devido a inexistência dos mesmos dentro do tradutor IFC, sendo assim manualmente através da ferramenta “Map IFC Properties for Export” foram criados estes atributos e posteriormente acessados na ferramenta Navisworks para quantificação destes elementos. O acesso a ferramenta está disponível acessando os menus File > Interoperability > IFC > IFC Translators.

Figura 63 - Mapeamento de atributos IFC no ArchiCAD



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Tabela 11 - Parâmetros IFC criados para exportação no ArchiCAD

Entidade IFC: IfcWall	**Propriedade IFC:** Quantidade
Parâmetro criado	Tipo parâmetro
Altura	IfcLengthMeasure
Área	IfcAreaMeasure
Area Externa Reboco	IfcAreaMeasure
Area Interna Reboco	IfcAreaMeasure
Comprimento	IfcLengthMeasure
Espessura	IfcLengthMeasure
Volume Externo Reboco	IfcVolumeMeasure
Volume Interno Reboco	IfcVolumeMeasure

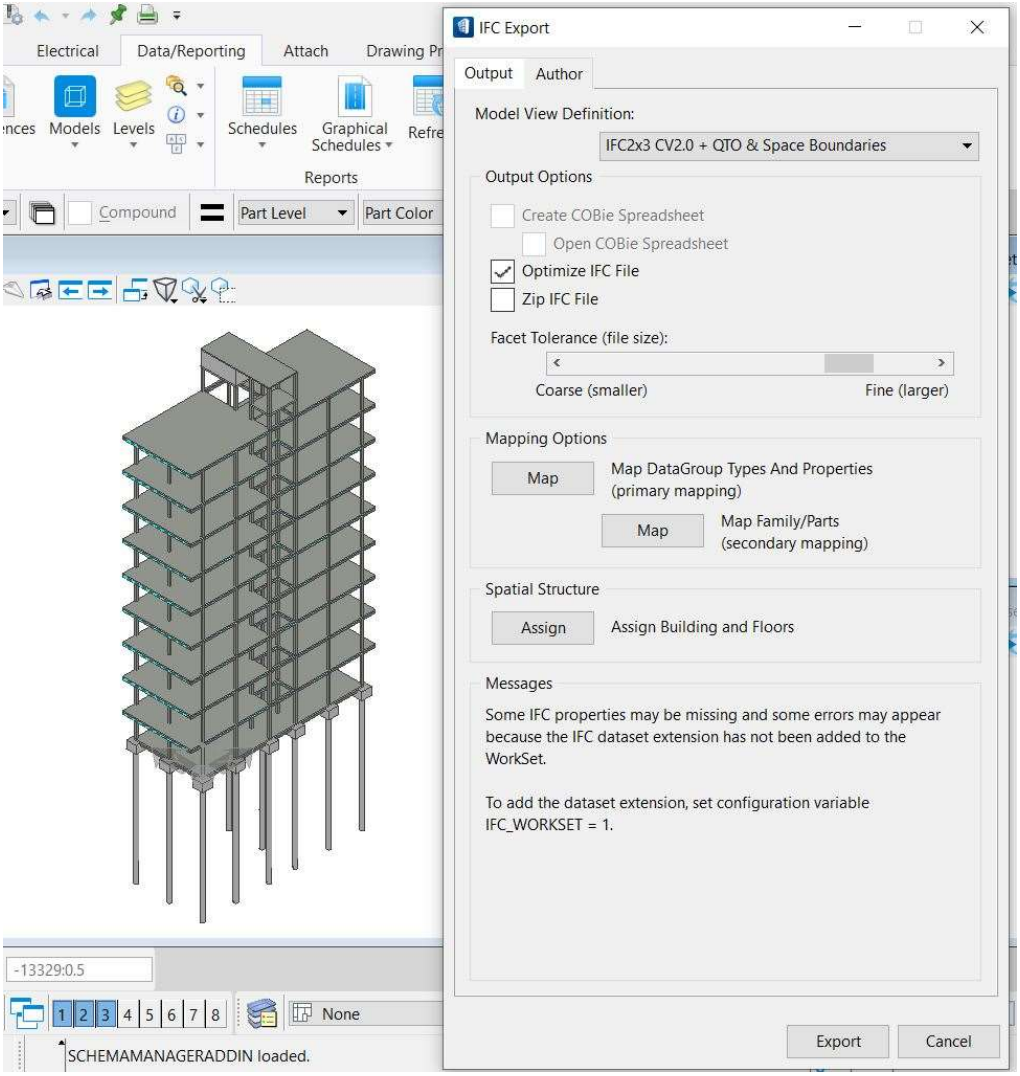
Entidade IFC: IfcSlab	**Propriedade IFC:** Quantidade
Área	IfcAreaMeasure
Volume	IfcVolumeMeasure

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Com estas configurações realizadas, novamente exportou-se por intermédio do esquema IFC em sua versão 2x3, através do MVD General Export disponível no catalogo de tradutores existentes na ferramenta ArchiCAD.

O modelo estrutural desenvolvido na ferramenta Openbujildings, também necessitou alterações com relação ao tradutor utilizado para exportação do modelo, sendo assim o modelo foi novamente exportado por intermédio do esquema IFC em sua versão 2x3, porem através do tradutor disponível no catálogo com o nome IFC 2x3 CV2 + QTO & SPACE BOUNDARIES, conforme figura 64.

Figura 64 - Detalhe configuração utilizada para exportação do modelo estrutural



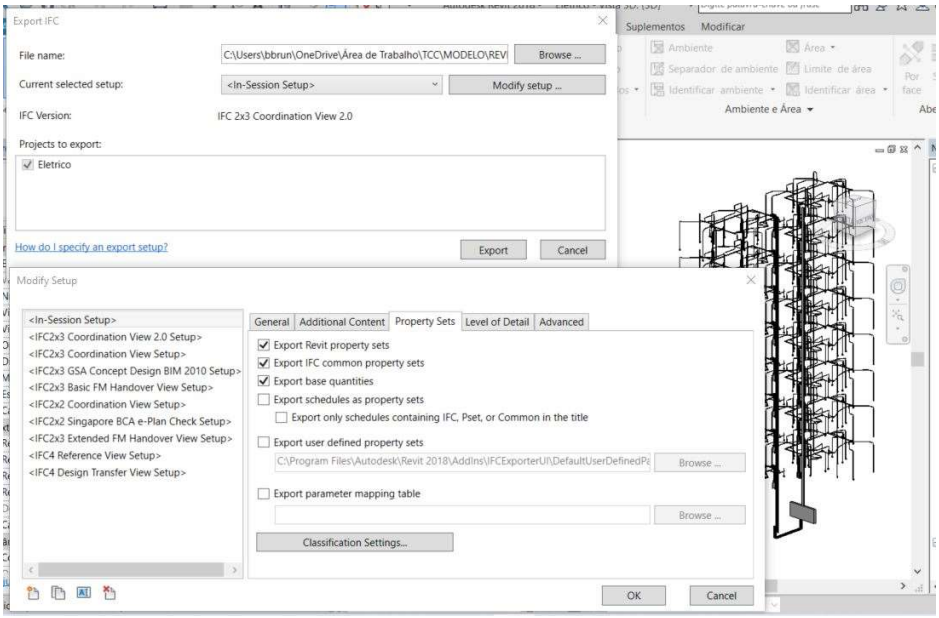
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Através desta nova exportação o modelo já apresentava as informações necessárias para a extração de quantitativos nas ferramentas Navisworks, não sendo necessário o mapeamento de atributos IFC para exportação.

De forma análoga aos outros modelos, o modelo elétrico também necessitou de uma nova exportação sendo esta realizada por intermédio do esquema IFC em sua versão 2x3 através do tradutor IFC 2x3 Coordination View 2.0 sendo que foram realizadas algumas configurações no intuito de acessar as informações para posterior extração de quantitativos. Conforme figura 65, as modificações realizadas foram definidas na aba Property Sets, sendo elas:

- Export Revit property sets;
- Export base quantities.

Figura 65 - Detalhe configuração para exportação do modelo elétrico

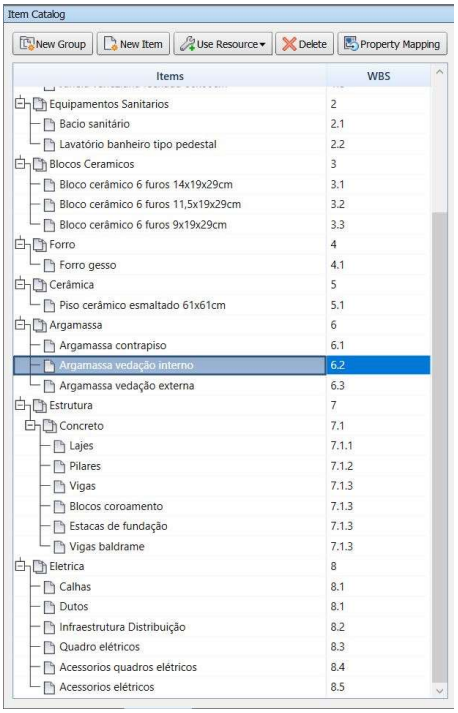


Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Sendo assim ao realizar todas as configurações necessárias dentro das ferramentas de modelagem, foi possivel acessar dentro da ferramenta Navisworks todas as informações necessárias após alguns pequenos ajustes dentro da mesma. Estes ajustes são referentes a criação de catalogo e itens para quantificação, assim como a especificação de quais parâmetros importados remetem aos parâmetros de quantificação do software Navisworks.

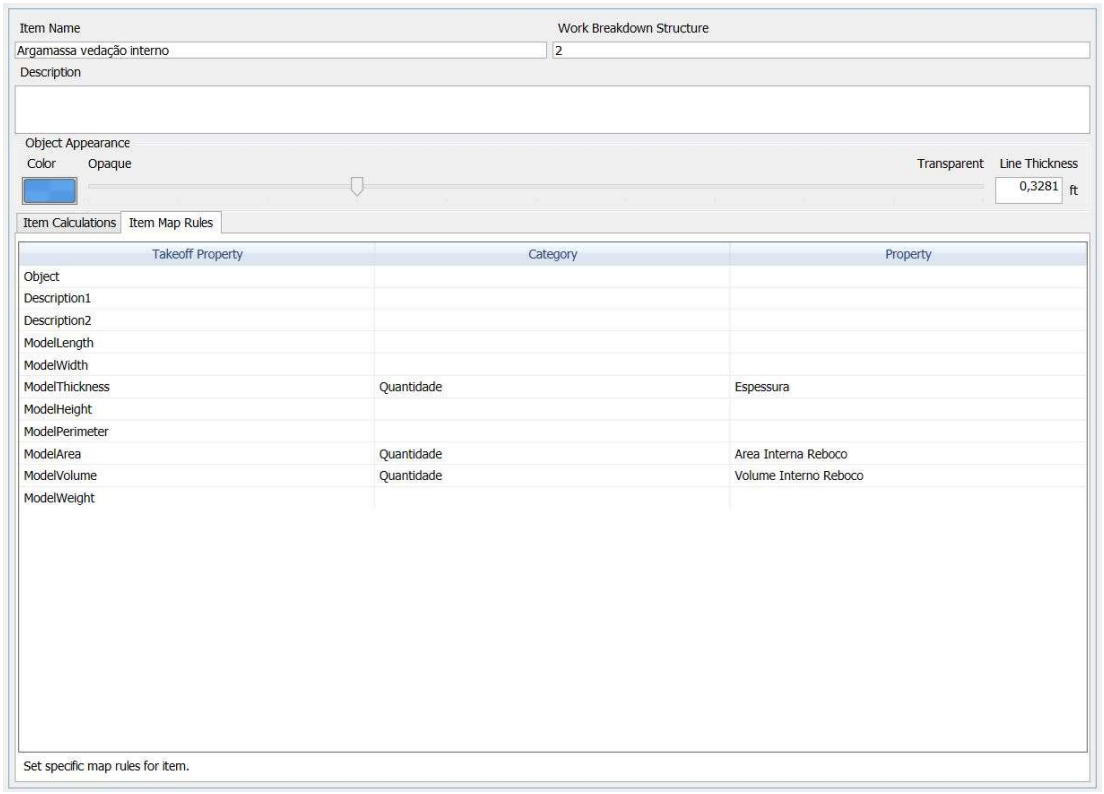
Conforme a figuras 66 e 67, verifica-se a criação dos grupos e itens agrupados para extração dos quantitativos.

Figura 66 - Grupos e itens criados para extração de quantitativos no Navisworks



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 67 - Especificação dos elementos importados para quantificação no Navisworks.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Ao término das configurações os elementos importados dentro do Navisworks foram inseridos em suas devidas categorias e itens criados para agrupamento, facilitando a leitura e interpretação das tabelas criadas.

Conforme tabela inserida em anexo E, é possivel verificar a extração de quantitativos dos modelos desenvolvidos em suas ferramentas nativas, assim como após sua exportação por intermédio do esquema IFC para a ferramentas Navisworks, desta forma pode-se analisar de forma mais criteriosa se ocorreu a perda de informações durante esta exportação.

3.5.2 Compatibilização dos modelos

O processo de compatibilização como conhecemos visa a análise criteriosa de interferência entre os diversos elementos que compõem um projeto de edificação, desta forma é evidente que um eficiente sistema de comunicação se faz necessário afim de facilitar a interoperação de informação entre os diversos agentes, desta forma o esquema IFC por apresentar-se como um padrão standard universal mais bem aceito e difundido, representa um facilitador para comunicação durante os processos de compatibilização através de ferramentas e processos BIM.

A adoção do esquema IFC, ferramentas e processos BIM para a federação e compatibilização de projetos multidisciplinares colaborativos visa facilitar este processo de interferências entre elementos moldando novos fluxos de trabalho para sua execução.

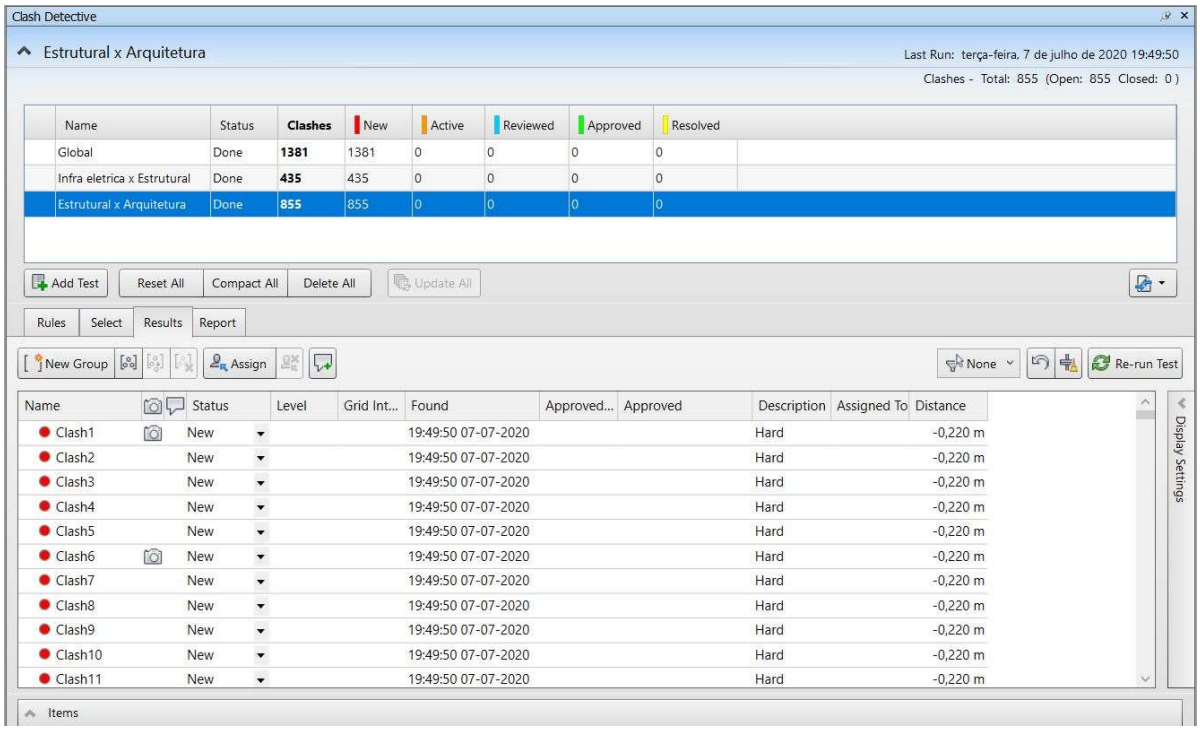
Como objeto de estudo deste trabalho, primeiramente buscou-se a federação dos arquivos desenvolvidos em ferramentas distintas, para posteriores analises de interferências entre os modelos arquitetônico, estrutural e elétrico desenvolvidos, sendo que estas interferências foram apenas apontadas em relatório, não sendo tratadas em seus softwares nativos por não fazerem parte da análise de interoperação entre os modelos através do esquema IFC.

Após o término da federação destes modelos distintos, possibilitou-se a execução da análise de interferências, também conhecido por “clash detection” sendo estes processos executados a partir da ferramenta de gestão do modelo da construção Navisworks. O acesso a ferramenta é feito através do menu principal “home” a partir do ícone “clash detective”, responsável por abrir o menu de seleções da ferramenta de “clash detection”.

O processo de análise possibilita averiguar as incompatibilidades e interferências entre os modelos ou elementos selecionados na ferramenta. Conforme figura 68, os modelos de estudo foram confrontados em três analises, sendo uma global onde todos os elementos foram

confrontados entre todos os elementos. A segunda analise buscou avaliar o confrontamento entre os elementos de infraestrutura, mais especificadamente calhas e eletrodutos do modelo elétrico com elementos de estrutura como vigas, lajes e pilares do modelo estrutural. Uma terceira analise buscou evidenciar as interferências existentes a partir do confrontamento do modelo arquitetônico com o modelo estrutural entre todos os seus elementos constituintes.

Figura 68 - Análise de interferências entre modelos desenvolvidos.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

As analises efetuadas apontaram interferências entre os diversos elementos e modelos, sendo estes apresentados de forma resumida através da tabela 12.

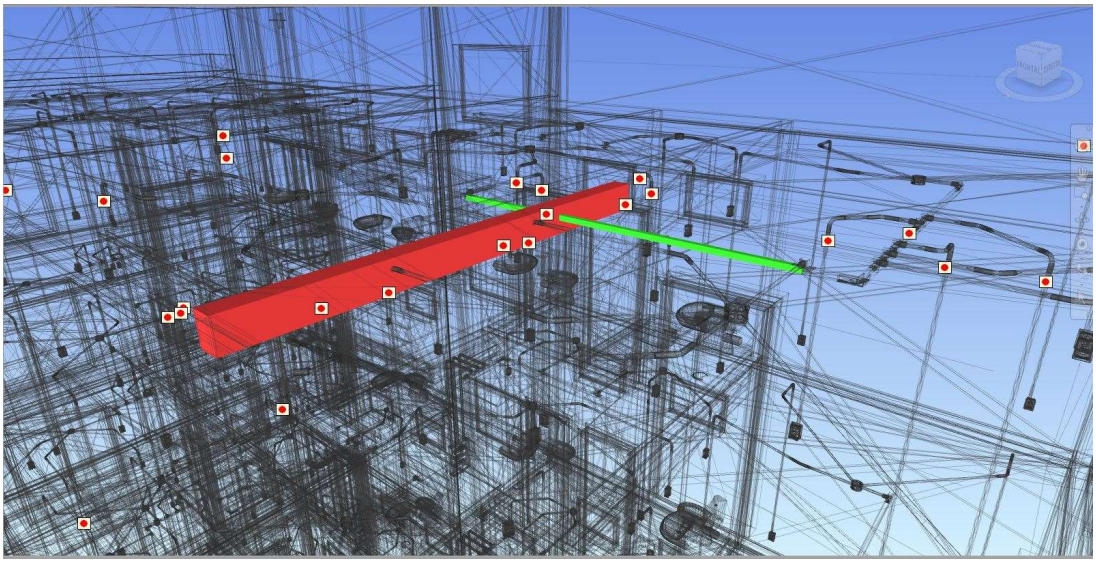
Tabela 12 - Resumo das interferências encontradas.

TIPO ANALISE	**INTERFERENCIAS ENCONTRADAS**
GLOBAL	1381
INFRAESTRUTURA ELÉTRICA X ESTRUTURAL	435
ESTRUTURAL X ARQUITETURA	855

Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

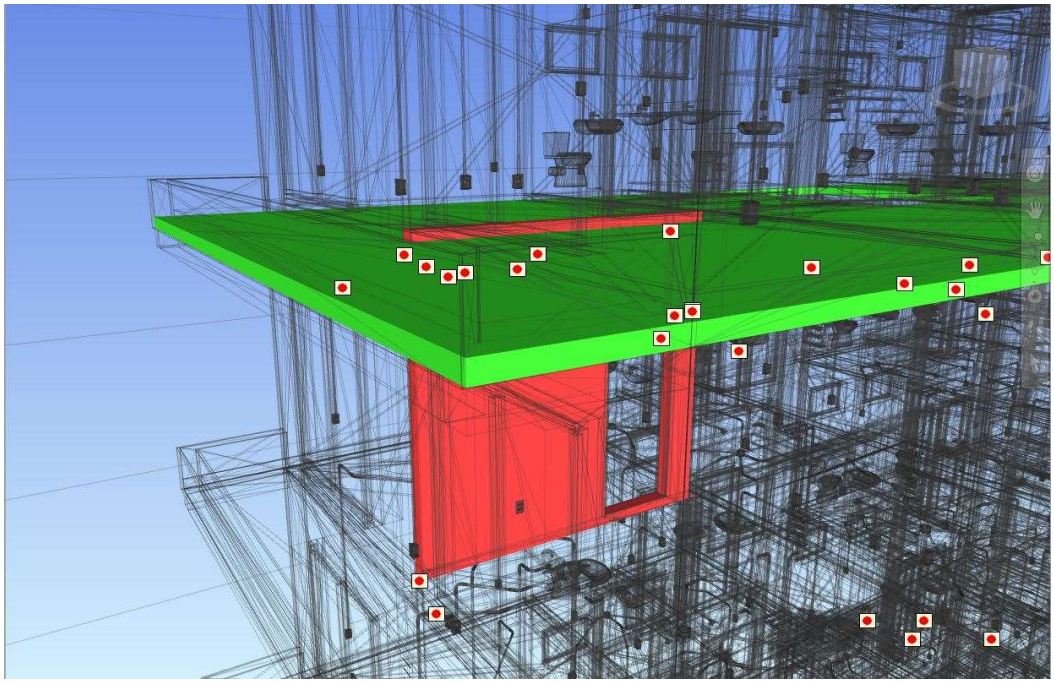
Através deste processo de compatibilização dos modelos desenvolvidos foi possivel avaliar interferências existentes entre estes modelos exportados através do esquema IFC, possibilitando assim a execução de retrabalho durante as fases posteriores de execução do projeto. As seguintes imagens evidenciam estes problemas de incompatibilidade entre os modelos. As figuras 69 e 71 são parte da análise de interferências entre o modelo estrutural e infraestrutura de distribuição dos elementos do modelo elétrico. A figura 70 evidencia a modelagem incorreta do elemento parede em não conformidade com o elemento estrutural viga e a última figura 72 demonstra os recorrentes erros de interferência entre o modelo estrutural e o modelo elétrico federados e compatibilizados.

Figura 69 - Interferência entre elementos do modelo estrutural e elétrico.



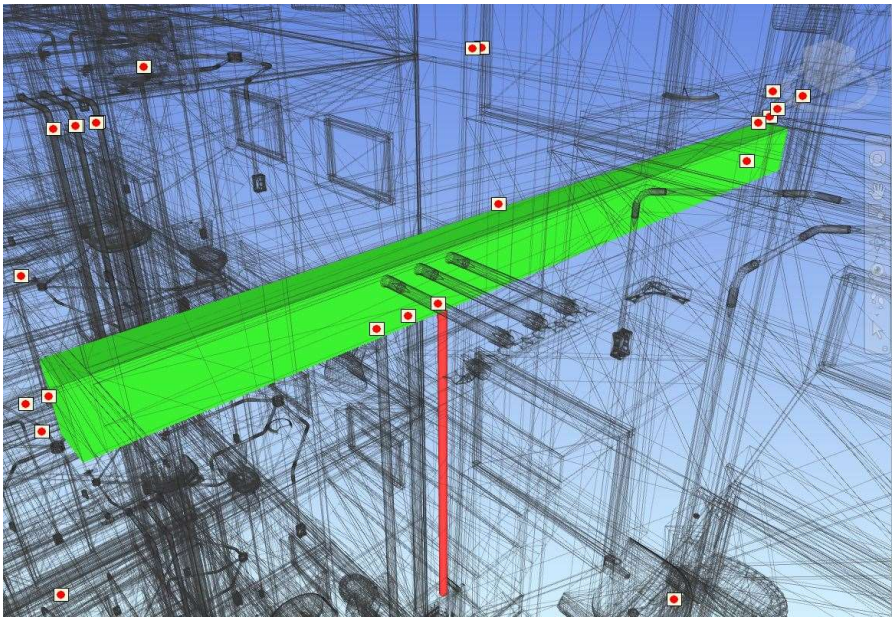
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 70 - Interferência entre elemento do modelo estrutural com arquitetônico.



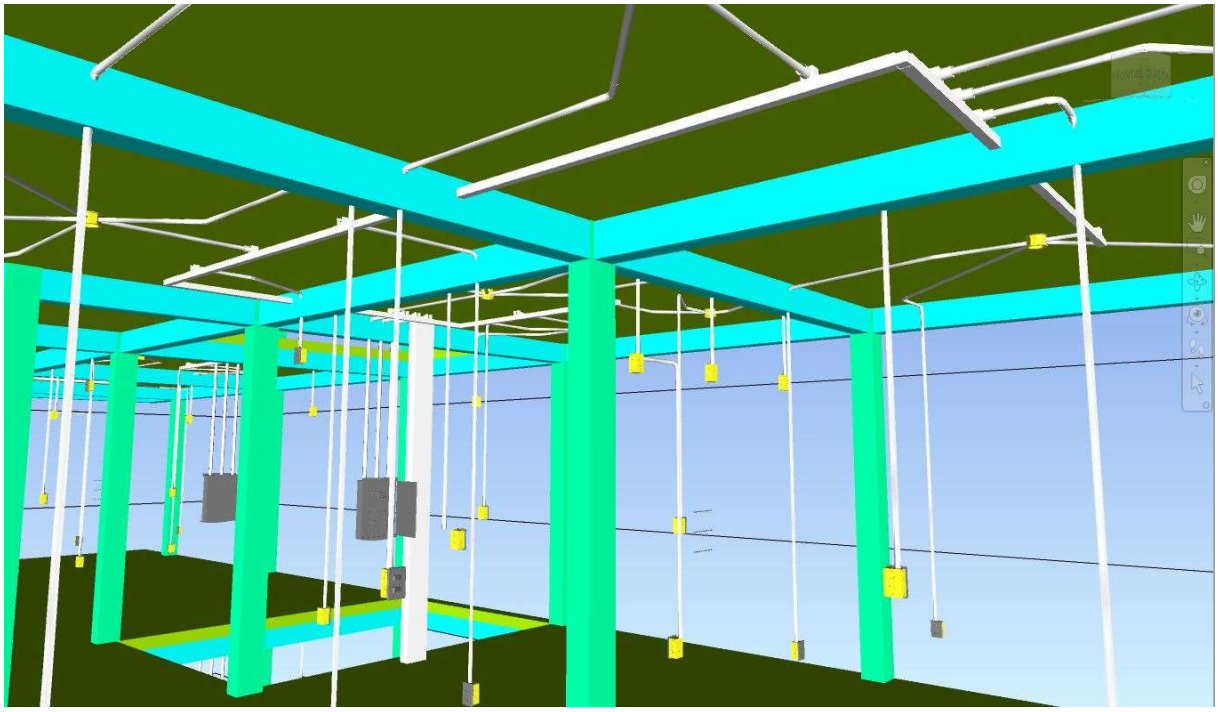
Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 71 - Interferência entre elemento do modelo estrutural e infraestrutura elétrica.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

Figura 72 - Interferências entre modelo estrutural e modelo elétrico.



Fonte: Elaborador pelo autor (2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da metodologia BIM pelos agentes da indústria AEC, com o passar do tempo de se firmado indiscutivelmente, como grande aliado no desenvolvimento de projetos de edificação da indústria da construção, desta forma cada vez mais recomenda-se a utilização desta metodologia, como elemento impulsionador desta indústria que a tempos necessita de uma repaginação.

Evidentemente que o caminho a ser percorrido para sua total implementação ainda se encontra a pequenos passos, desta forma o conhecimento e a ciência aplicada a esta metodologia, aliado as práticas e técnicas desta indústria devem convergir em uma perfeita sinergia para adoção de seus processos e ferramentas de forma a gerir pessoas mais capacitadas aos seus novos fluxos de trabalho e colaboração multidisciplinar.

Dentro deste contexto de comunicação o esquema IFC, padrão este que se apresenta como standard mundialmente reconhecido e adotado, mostrou-se eficiente e uma poderosa ferramenta para a gestão da comunicação evitando os grandes percalços ocorridos nos processos adotados pela indústria através de projetos geridos através de ferramentas CAD.

Novos fluxos de trabalho decorridos da adoção da metodologia BIM incorrem no desenvolvimento de modelos de informações, visualmente desenvolvidos em ferramentas de modelagem 3D, mostram-se totalmente eficientes e integrados a metodologia, entretanto estes novos fluxos requerem uma completa colaboração e comunicação entre os agentes envolvidos de forma a padronizar elementos da construção facilitando a interpretação dos mesmos por seus usuários durante todo o ciclo de vida da edificação.

Como resultado desta pesquisa foi possivel analisar e desenvolver todos os modelos propostos das disciplinas de arquitetura, através do software ArchiCAD, estrutural através do software Openbuildings e elétrica através do software Revit, de forma que o desenvolvimento através da metodologia BIM provou-se um fator de extrema importância para o aperfeiçoamento do setor, entretanto alguns pontos puderam ser observados, principalmente no âmbito processual, devem ser destacados pois necessitam de maior atenção durante o desenvolvimento de projetos de edificação da indústria da construção.

A falta de bibliotecas e padronização de elementos é um dos fatores que merecem atenção da cadeia da indústria da construção, pois a classificação de seus elementos ou falta de informação durante o desenvolvimento destes modelos, pode acarretar em desacordo ou não conformidade as vistas de terceiros após a interoperação de dados. Neste trabalho ficou evidente

que a falta de informações perante os elementos modelados em suas ferramentas nativas acabou por dificultar a interpretação do projeto como um todo, como casos onde vigas de concreto armado encontravam-se modeladas como vigas metálicas ou a falta de informação dimensional de elementos desenvolvidos no modelo elétrico como acessórios para infraestrutura.

Desta forma novos fluxos de colaboração e comunicação devem ser adotados para a perfeita cooperação entre os agentes durante o desenvolvimento de elementos e modelos BIM, facilitando a interpretação por todos os usuários da cadeia da indústria da construção.

Através de um esquema totalmente aberto, o padrão reconhecido como Industry Foundation Classes, mais reconhecido por sua abreviação IFC, visa interoperar os dados desenvolvidos por ferramentas distintas de forma a proporcionar que cada disciplina envolvida tenha liberdade de desenvolver seus modelos em softwares habitualmente utilizados e reconhecidos.

Pode-se concluir que o esquema IFC visa facilitar a comunicação entre os diversos agentes envolvidos em um projeto multidisciplinar e que apesar de suas limitações sejam elas no âmbito computacional como processual, sua eficiência encontra-se parcialmente resolvida para os elementos e modelos observados neste trabalho.

Perante aos modelos desenvolvidos de maneiras distintas, foi possivel avançar na usabilidade da informação, de forma colaborativa, desenvolveu-se a federação destes modelos possibilitando a compatibilização e coordenação através da importação por intermédio do esquema IFC dentro da ferramenta Navisworks. Da mesma forma foi viabilizado o desenvolvimento de um modelo 5D para extração de quantitativos possibilitando dentro da ferramenta Navisworks o que possibilitou a comparação entre elementos extraídos durante o desenvolvimento destes modelos e após a troca de dados.

Durante a interoperação dos dados gráficos dos modelos foi possivel verificar que em alguns momentos houve falha na tradução das informações durante a troca de informação entre os distintos softwares utilizados, como nos casos onde elementos do modelo arquitetônico importados ao modelo estrutural não haviam sido importados corretamente, havendo o desaparecimento do elemento graficamente e no caso de elementos estruturais importados no modelo elétrico.

Desta forma pode-se concluir, que no âmbito gráfico visual a solução de adoção do IFC como padrão de comunicação apesar de que, em sua grande maioria houve sucesso na importação e exportação destes modelos, não apresenta-se como solução integra eficiente, analisado que em alguns poucos casos houve falha na troca de informação, sendo assim é

necessário a realização de testes para exportação e importação com possíveis confirmações de conformidade para estes processos.

Com relação a troca de informações agregadas aos modelos desenvolvidos, foi possivel analisar que pouca informação foi realmente perdida de acordo com comparativo entre tabelas de extração de quantitativos nos modelos desenvolvidos em sua ferramenta especifica com tabela de quantitativo extraída após a exportação dos modelos no modelo federado dentro da ferramenta Navisworks.

Pode-se concluir que apesar da pouca informação perdida os processos de exportação e importação entre os modelos através do esquema IFC e seus tradutores específicos certificados, este padrão para os elementos e modelos em análise possui alta eficiência, visto que pouca informação foi realmente perdida durante os processos de comunicação evidenciados neste trabalho, entretanto é de extrema importância salientar que para extração dos quantitativos através do modelo exportado em IFC, diversas configurações tiveram de ser realizadas para que se conseguisse chegar a um resultado apropriado as necessidades ao que este trabalho se propunha.

Para efetivar uma eficiente troca de informações entre os modelos, ações como mapeamento de classes IFC, mapeamento de atributos exportados e importados foram necessários afim de chegar ao resultado obtido, não obstante a estes procedimentos outro fator de extrema importância que deve ser considerado durante o desenvolvimento de modelos da construção, é a necessidade de padronização dos elementos da construção visto que sua classificação em não conformidade pode gerar problemas na ordem de entendimento da soluções adotadas.

Desta forma a eficiência existente entre os processos de comunicação encontram-se parcialmente resolvidos em relação ao campo computacional, sendo necessário padronizações para troca de informações em formato aberto IFC, entretanto dentro do campo de processos bastante deve ser avançado para que se chegue a um consenso e padronize-se uma indústria de tamanho porte como da construção civil e todos os seus elementos, processos e agentes envolvidos.

4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, diversos aspectos e assuntos importantes não foram apresentados por não fazerem parte do objeto do estudo, sendo assim é importante salientar que a falta dos mesmos no decorrer desta pesquisa não representa irrelevância neste contexto.

A própria temática apresentada neste trabalho, por si só é tema para diversas análises e investigações, pois sua complexidade perante os profissionais de engenharia e arquitetura demanda muito conhecimento fora do contexto da própria engenharia, necessitando novas habilidades, conhecimento e informação para estes profissionais, desta forma o próprio IFC requer mais entendimento sobre seus processos e eficácia durante suas trocas de dados.

Também é possivel a investigação com relação a troca de informações, a partir de outros formatos existentes e novas tecnologias relacionadas a este processo.

Ao analisar as falhas decorrentes do intercâmbio de informações verificou-se que a falta de padronização entre os diversos elementos e processos envolvidos impactou diretamente na forma em que estes foram traduzidos entre os distintos softwares dificultando a interpretação da informação, desta forma é possivel investigar o plano de execução BIM, documento difundido como “BEP” como fator fundamental para eficiência nos processos de troca de dados, assim como a discussão acerca de contratação também é pertinente com relação ao assunto de padronização.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi analisado que ambos os tradutores utilizados e disponíveis correspondem as necessidades de outros mercados que não o mercado nacional e suas características, desta forma a proposição do desenvolvimento de tradutores para determinados usos BIM específicos para dentro do mercado brasileiro, torna-se assunto de extrema importância para desenvolvimento da indústria nacional.

A falta de automatização entre os diversos processos de comunicação, é outro ponto relevante observado, pois necessitou-se conhecimentos mais específicos acerca das ferramentas e processos utilizadas, sendo estes conhecimentos não disponíveis durante a formação de profissionais da indústria da construção, de modo que a apresentação de modelos mais intuitivos e automatizados podem acarretar em uma eficiência e produtividade maior durante a troca de informações entre os modelos BIM.

REFERÊNCIAS

7WONDER. **7 Wonders of the world**. Disponível em: <http://www.7wonders.org/civil-engineering-wonders/>, acesso em: 25 de mai. 2018.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Coletânea guias BIM – Volume 01 – Processo de projeto BIM. Disponível em: < http://www.abdi.com.br/Paginas/bim_construcao_download.aspx>, acesso em: 02 de mar. 2018.

ANDRADE, Max Lira Veras De; RUSCHEL, Regina Coeli. Interoperabilidade entre ArchiCAD e Revit por meio do formato IFC. In: ENCONTRO DA TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4, 2009, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB14790.pdf>, acesso em: 22 de mai. 2018.

ARCARI, Etiene Do Amaral et al. Interoperabilidade: Um desafio para o processo de modelagem parametrizada de detalhes arquitetônicos e sua materialização. **Bluches Design Proceedings,** v. 2, n. 3, p. 341-349, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13531-2:** Elaboração de projetos de edificações – Atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 16636-2:** Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos – Parte 2: projeto arquitetônico. Rio de Janeiro, 2017.

AUTODESK. Revit overview. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>, acesso em: 30 de mai. 2018.

AUTODESK. Navisworks overview. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/overview>, acesso em: 30 de mai. 2018.

AZHAR, Salman. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and management in engineering, v. 11, n. 3, p. 241-252, 2011.

BAÍA, Denize Valeria Santos. Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BALLANTYNE, Andrew. **As + importantes edificações da pré-história à atualidade**. 1. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BAZZO, W. Antonio; PEREIRA, Luiz T. do Vale. **Introdução a engenharia: Conceitos, ferramentas e comportamentos**. 3. ed.. Florianopolis: USFC, 2012. 256 p.

BOCK, Thomas. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. Automation in construction. v. 59, p. 113-121, nov. 2015.

BIMDICTIONARY, verbete BIM. Disponível em: <https://bimdictionary.com/>, acesso em: 21 de mai. 2018.

BIMDICTIONARY, verbete interoperability. Disponível em: <https://bimdictionary.com/>, acesso em: 21 de mai. 2018.

BIMFORUM, Level of Development Specification. Disponível em: < http://bimforum.org/lod/>, acesso em 27 de mai. 2018.

BONFIM, C. A. A; LISBOA, B. T.W.; MATOS, P. C. C. D. Gestão de obras com BIM – Uma nova era para o setor da construção civil. In: CONGRESS OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS, 20, 2016, Buenos Aires, Argentina. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016_724.pdf>, acesso em 25 de mei. 2018.

BRASIL, Decreto n° 9.377, de 17 de Março de 2018. Institui a estratégia nacional de disseminação do Building Information Modelling. Disponível em: <>, acesso em: 22 de mai. 2018.

BUILDINGSMART, **All applications by category.** Disponível em: **<**http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/implementations **>,** acesso em: 25 de mai. 2018.

BUILDINGSMART. **About buildingsmart history.** Disponível em: < https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>, acesso em 22 de mai. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO: relatório técnico: PIB Brasil e Construção Civil, Brasília: CBIC; 2017. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>, acessado em: 22 de mai. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÂO. Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Volume 1 – Fundamentos do BIM. Disponível em: < https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/>, acesso em 02 de mar. 2018.

_____. Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Volume 2 – Implementação do BIM. Disponível em: < https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/>, acesso em 02 de mar. 2018.

_____. Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Volume 3 – Colaboração e integração do BIM. Disponível em: < https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/>, acesso em 02 de mar. 2018.

CALLEGARI, Simara. **Analise da compatibilização de projetos em três edifícios residenciais multifamiliares.** 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CATTANI, Airton. Arquitetura e Representação gráfica: Considerações históricas e aspectos práticos. **Arqtexto,** n. 9, p. 110-123, 2006.

CATELANI, Wilton Silva; SANTOS, Eduardo Toledo. Normas brasileiras sobre BIM. **Concreto e construções,** v. 84, p. 54-59 2016.

CATELANI, Wilson Silva; SANTOS, Eduardo Toledo. Normas Brasileiras sobre BIM. **Concreto e Construções. Ed**, v. 84, 2016.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco et al. **Entendendo BIM.** Disponível em: < https://www.campestrini.com.br/entendendobim>, acessado em: 05 de mai. 2018.

CAMPOS, I. M; VALADARES, E. D. C. Inovação tecnológica e desenvolvimento econômico. Artigo não publicado disponível em: < http://www.schwartzman.org.br/simon/blog/inovacaomg.pdf>, acessado em: 28 de mai. 2018.

CAMPOS, Sergio Emidio De Azevêdo. **Gestão do processo de projetos de edificações em instituição federal de ensino superior: Estudo de caso no CEPLAN/UnB.** 2011. 226 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasilia, Brasília, 2011.

CARDOSO, Jose Roberto. A engenharia e os engenheiros. **Revista da USP**, São Paulo, n. 76, p. 44-51, dez./fev. 2007/2008.

CARVALHO, F. M. A. D; TEIXEIRA, L. P. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia Brasileira. **Revista Paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, n. 109, p. 09-26, Jul./Dez. 2005.

CHEN, Li Juan; LUO, Hanbin. A BIM-Based construction quality management model and its applications. **Automation in construction,** v. 46, p. 64-73, 2014.

CODAS, Manuel M. Benitez. Gerência de projetos: uma reflexão histórica. **Revista de Administração de Empresas**, v. 27, n. 1, p. 33-37, jan./mar. 1987.

CONSELHO FEREDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. **Decreto n° 1.048, de 14 de Agosto de 2013.** Consolida as áreas de atuação dos profissionais abrangidos pelo sistema Confea/Crea. Disponível em: < http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=52470>, acesso em: 25 de mai. 2018.

CORREA, F. R; SANTOS. E. T. Ontologias na construção civil: Uma alternativa para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. **Gestão e tecnologia de projetos.** São Paulo, v. 9, n. 2, p. 7-22, jul./dez. 2014.

COSTA, G. C. L. R. D; FIGUEIREDO, S. H; RIBEIRO, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia CAD com a tecnologia BIM. **Revista de ensino de Engenharia,** Ouro Preto, v. 43, n. 2, p. 11-18, 2015.

CRUZ, Gabriela Pontes Silva. **Coordenação e compatibilização de projetos para a construção de edifícios: Estudos de casos em instituições públicas e privadas.** 2011. 106 f. Dissertação (Pós-graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

DELATORRE, Joyce Paula Martin; SANTOS, Eduardo Toledo. Introdução de novas tecnologias: o caso do BIM em empresas de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO, 10, 2014, Maceió. **Anais eletrônicos...** disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Santos6/publication/301433410_Introducao_de

_novas_tecnologias_o_caso_do_BIM_em_empresas_de_construcao_civil/links/573ee3d908ae298602e8e21f.pdf>, acesso em 18 de mai. 2018.

EASTMANN, Chuck et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. John Wiley & Sons: New Jersey, 2011.

ENAP. **Escola nacional de administração pública.** Brasilia, DF, 2015. Dísponivel em: https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2398

ERNSTROM, Bill et al. **The contractor's guide to BIM.** 1. ed. Disponível em: < https://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2008/tjs288/Research/AGC_GuideToBIM.pdf> , acesso em 21 de mai. 2018.

FABRÌCIO, Marcio Minto; BAÍA, Josaphat Lopes; MELHADO, Silvio Burrattino. Estudo da sequência de etapas do projeto na construção de edifícios: cenário e perspectivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: a engenharia de produção e o futuro do trabalho, 1998, Niterói. **Anais...** Niterói: UFF/ABEPRO, 1998ª

FABRICIO, Marcio Minto; MELHADO, Silvio B. Desafios para a integração do processo de projeto na construção de edifícios. In: WORKSHOP NACIONAL: gestão do processo de projeto na construção, 2001. **Anais eletrônicos:** Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/228636483_Desafios_para_integracao_do_processo_de_projeto_na_construcao_de_edificios>, acesso em: 18 de mai. 2018.

FABRICIO, Márcio M.; MELHADO, Silvio B. Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios. In: **WORKSHOP NACIONAL: gestão do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001.

FONTENELLE, Eduardo Cavalcante. **Estudo de caso sobre a gestão do projeto em empresas de incorporação e construção.** 2002. 384 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

G2 CROWD. **Best Building Design and Building Information Modelling (BIM) Software.** Disponível em: < https://www.g2crowd.com/categories/building-design-and-building-information-modeling-bim>, acesso em: 26 de mai. 2018.

GASTALDI, J. Petrelli. **Elementos de economia política**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

GIESECK, Frederick E. et al. **Comunicação gráfica moderna.** Porto Alegre: Bookman, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRAPHISOFT, All about archicad. Disponível em: <http://archicad.com/br/all-about-archicad/>, acesso em: 30 de mai. 2018.

GUERRETTA, Luis Felipe; SANTOS, Eduardo Toledo. Comparação de orçamento de obra de sistemas prediais com e sem a utilização de BIM. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7, 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

GOMES, C. Almeida; GONÇALVES, J. E. Lima. A tecnologia e a realização do trabalho. **Revista de administração de empresas**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 106-121, jan./fev. 1993.

GONDIM, Ivo Almino et al. Análise da economia nacional e a participação da indústria da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP1063d.pdf>, Acesso em 25 de mai. 2018.

JACOSKI, Claudio Alcides, LAMBERTS, Roberto. A interoperabilidade como fator de integração de projetos na construção civil. In; WORKSHOP DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2, 2002. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Lamberts/publication/259104713_A_interoperabilidade_como_fator_de_integracao_de_projetos_na_construcao_civil/links/0deec52e645192e7c3000000/A-interoperabilidade-como-fator-de-integracao-de-projetos-na-construcao-civil.pdf>, acesso em: 18 de mai. 2018.

KAMARDEEN, Imriyas. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In: ANNUAL ARCOM CONFERENCE, 26, 2010. **Anais eletrônicos…** Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39762741/ar2010-0281-0289_Kamardeen.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1528329895&Signature=nFDFg9poxvIxmc3K3XvUgSO7UvA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAr2010-0281-0289_Kamardeen.pdf>, acesso em: 27 de mai. 2018.

KASSEM, Mohamed; SUCCAR Bilal. Building Information Modelling: Point of adoption. In: CIB World Congress, 2016, Tampere, Finlândia. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Bilal_Succar/publication/301815129_Building_Information_Modelling_Point_of_Adoption/links/572993a708ae057b0a03465e/Building-Information-Modelling-Point-of-Adoption.pdf>, acessado em 22 de mai. 2018.

LAAKSO, M. Kiviniemi, A. O. The IFC standard: A review od history, development and standardization, information technology. **Journal of information technology in construction,** Vol. 17, pg. 134 – 161, 2012.

LAKATOS, Eva Maria. MARCONI, M. D. Andrade. **Fundamentos de metodologia cientifica.** São Paulo: Atlas, 2003.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras.** Rio de Janeiro: LTC, 2012.

LUKOSEVICIUS, A. P; SOARES, C. A. P; JOIA, L. A. Caracterização da complexidade em projetos de engenharia. Gestão Produção São Carlos, 2017. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2017005016105&lng=pt&nrm=iso>, acesso em 25 de mai. 2018.

MARSICO, Matheus Lamas et al. Aplicação de BIM na compatibilização de projetos de edificações. **Iberoamerican Journal of industrial Enginnering.** Florianopolis, v. 9, n. 17, p. 19-41, 2017.

MATOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras.** São Paulo: PINI, 2006.

MATOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: PINI, 2010.

MACHADO, F. A; RUSCHEL, R. C; SCHEER, Sergio. Analise da produção cientifica brasileira sobre a modelagem da informação da construção. **Ambiente construído,** Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 359-384, out./dez. 2017.

MIGILINSKAS, Darius et al. The Benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. **Procedia Engineering,** v. 57, p. 767-774, 2013.

MIKALDO JR, Jorge; SCHEER, Sergio. Compatibilização de projetos ou engenharia simultânea: Qual é a melhor solução? **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 79-99, jun. 2008. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50928>. Acesso em: 06 jun. 2018.

MELHADO, Silvio Burrattino. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: Aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994, 311 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELHADO, Silvio Burrattino et al. **Coordenação de projetos de edificações.** São Paulo: O nome da rosa, 2005.

MENEZES, Gilda Lúcia Bakker Batista De. Breve histórico de implantação BIM. **Cadernos de arquitetura e urbanismo,** v. 18, n. 22, 2011.

MICROSOFT. Microsoft Project. Disponível em: <https://products.office.com/pt-br/project/project-and-portfolio-management-software?tab=tabs-1>, acesso em 21 de mai. 2018.

MIRIAM, Roux A. Addor et al. Colocando o "i" no BIM. **Arquitetura e urbanismo,** São Paulo: USJT, p. 104-115, 2010.

MONTEIRO, Ana C. N. et al. Compatibilização de projetos na construção civil: importância, métodos e ferramentas. **Revista campo do saber,** João Pessoa v. 3, n. 1, 2017.

DANTAS FILHO, J. B. Pinheiro et al. BIM em construtora. Prototipagem e compatibilização de projetos de alvenarias e instalações. **Blucher Engineering Proceedings.** v. 2, n. 2, p. 205-217, 2015.

OLIVEIRA, Otávio J; MELHADO, Silvio Burrattino. **Como administrar empresas de projeto de arquitetura e engenharia civil**. São Paulo: Pini, 2006.

OPENDEFINITION – **The definition.** Disponível em: https://opendefinition.org/od/2.1/en. Acesso em 02 mai. 2020.

ORACLE. Primavera overview. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/industries/construction-engineering/prime/index.html>, acesso em: 25 de mai. 2018.

PACHECO, Carlos Américo; ALMEIDA, Julio G. D. A política de inovação. **Texto para discussão**, Campinas: UNICAMP, n. 219, mai. 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: Guia PMBOK.** 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

RAI, Sandip. **Design of a Single Family House Using BIM Software : Modelling on ArchiCAD & Tekla Structures.** 2016. 68 f. Monografia (Graduando em engenharia civil) – University of Helsinki Metropolia, Helsinki, 2016.

SANTOS, Adriana de Paula Lacerda et al. A utilização do BIM em projetos de construção civil. In: Iberoamerican Journal of industrial Enginnering. Florianopolis, v. 1, n. 2, p. 24-42, dez. 2009. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < http://stat.intraducoes.incubadora.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/171>, acesso em: 25 de mai. 2018.

SILVA, M. A. Conelo; SOUZA, Roberto De. **Gestão de processo de projeto de edificações.** São Paulo: O nome da rosa, 2003.

SILVA, M. V. F. Pinto; NOVAES, C. Carlos. A coordenação de projetos de edificações: Estudos de caso. **Gestão & tecnologia de projetos,** v. 3, n. 1, p.44-78, mai. 2008.

SMITH, Peter. BIM & the 5D Project cost manager. **Procedia-Social and Behavorial,** v. 119, p. 475-484, 2014.

SMITH, Dana K; TARDIF, Michael. **Building Information Modeling: a Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers**. New Jersey, USA: Wiley, 2009.

SILVEIRA, Marcos Azevedo da. A formação do engenheiro inovador: Uma visão internacional. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2005.

SOUZA, Carolina Ribas De et al. A comunicação no processo de projeto em escritórios de pequeno porte em Curitiba. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2009, p. 334-344.

SOUZA, Roberto et al. **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras.** São Paulo: PINI, 1995.

SUCCAR, Bilal. 2018: O ano da implantação mundial do BIM. [16 de abril, 2018]. Entrevista concedida a CBICMais. Disponível em: <https://cbic.org.br/2018-o-ano-da-implantacao-mundial-do-bim/>, acessado em: 05 de mai. 2018.

TAKIM, Roshana; HARRIS, Mohd; NAWAWI Abdul Hadi. Building Information modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 101, p. 23-32, 2013.

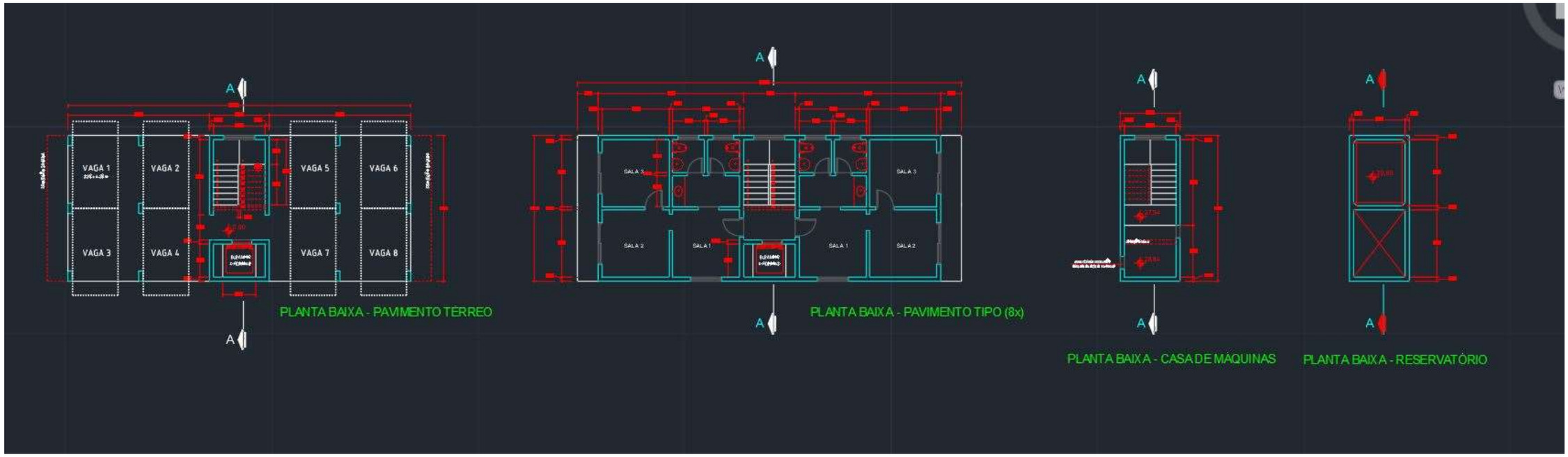
TELLES, Pedro C. D. S. História da engenharia no Brasil: Século XX. 2. ed. Rio de Janeiro: Clavero, 1994.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na construção civil.** São Paulo: PINI, 2006.

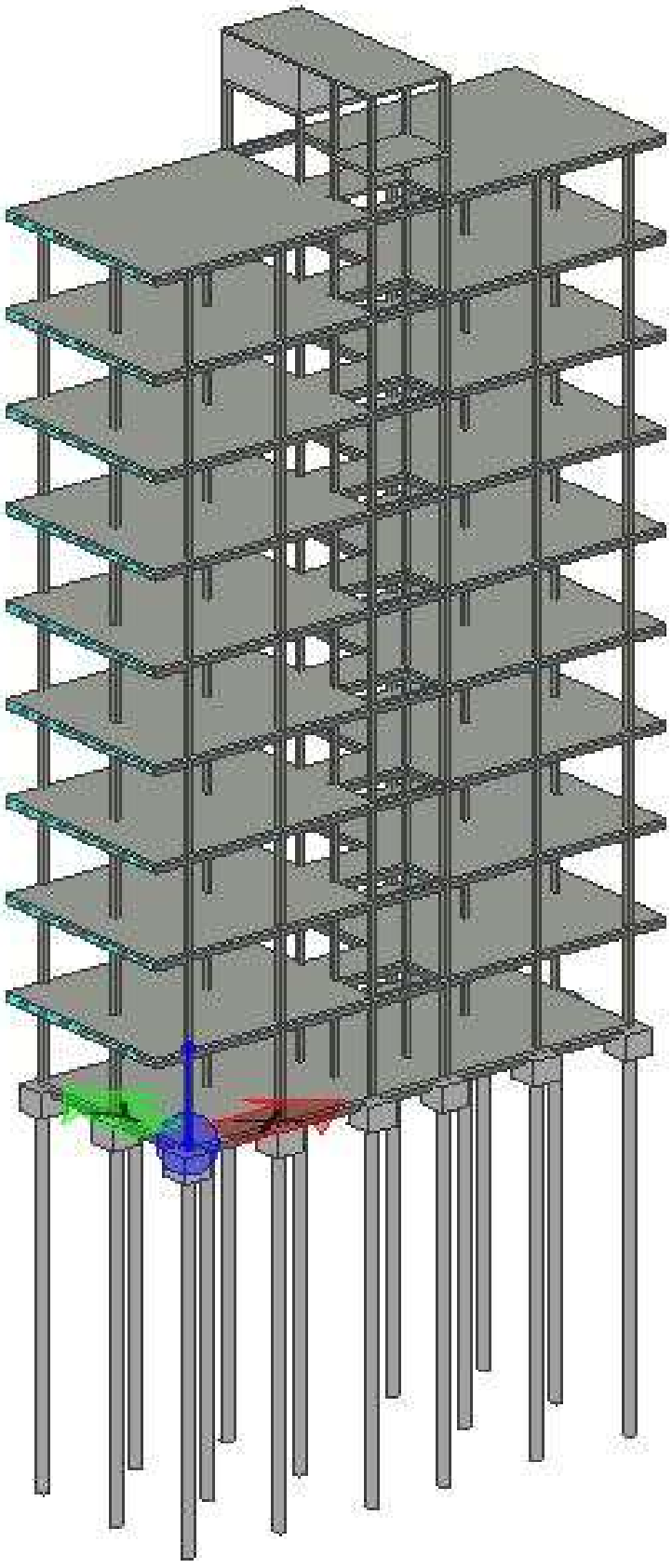
YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

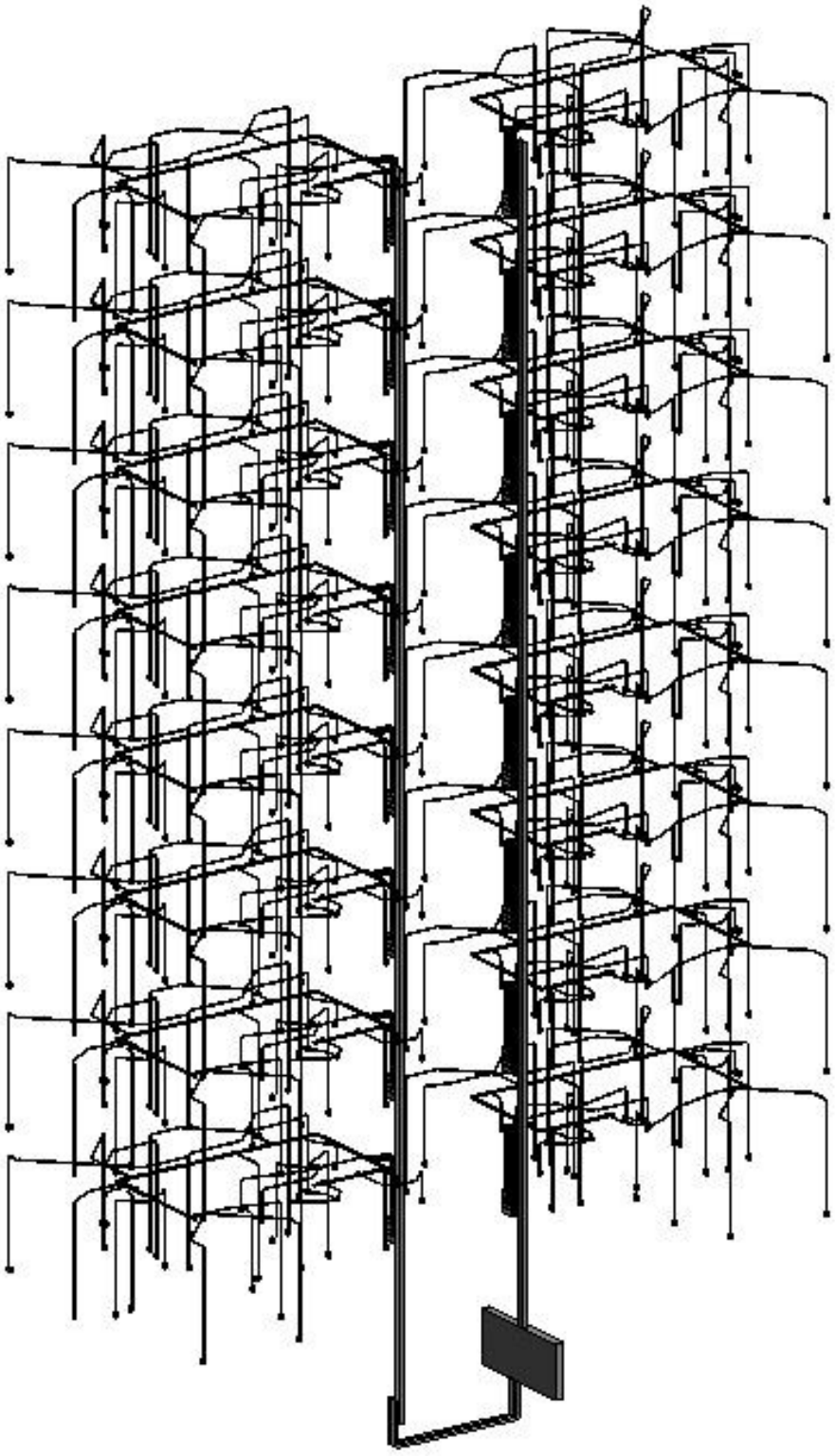
ANEXOS

ANEXO A – PROJETO ARQUITETÔNICO

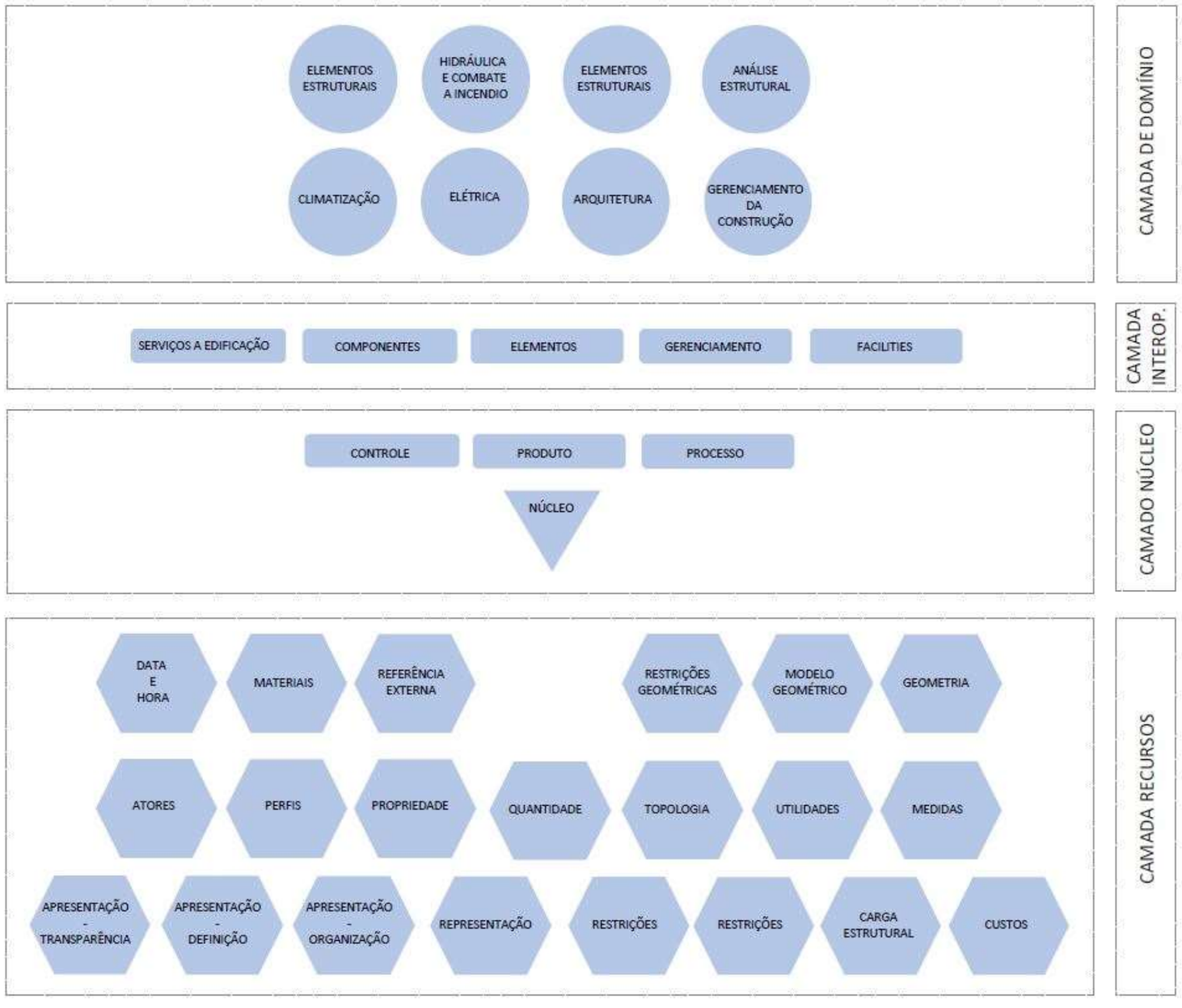


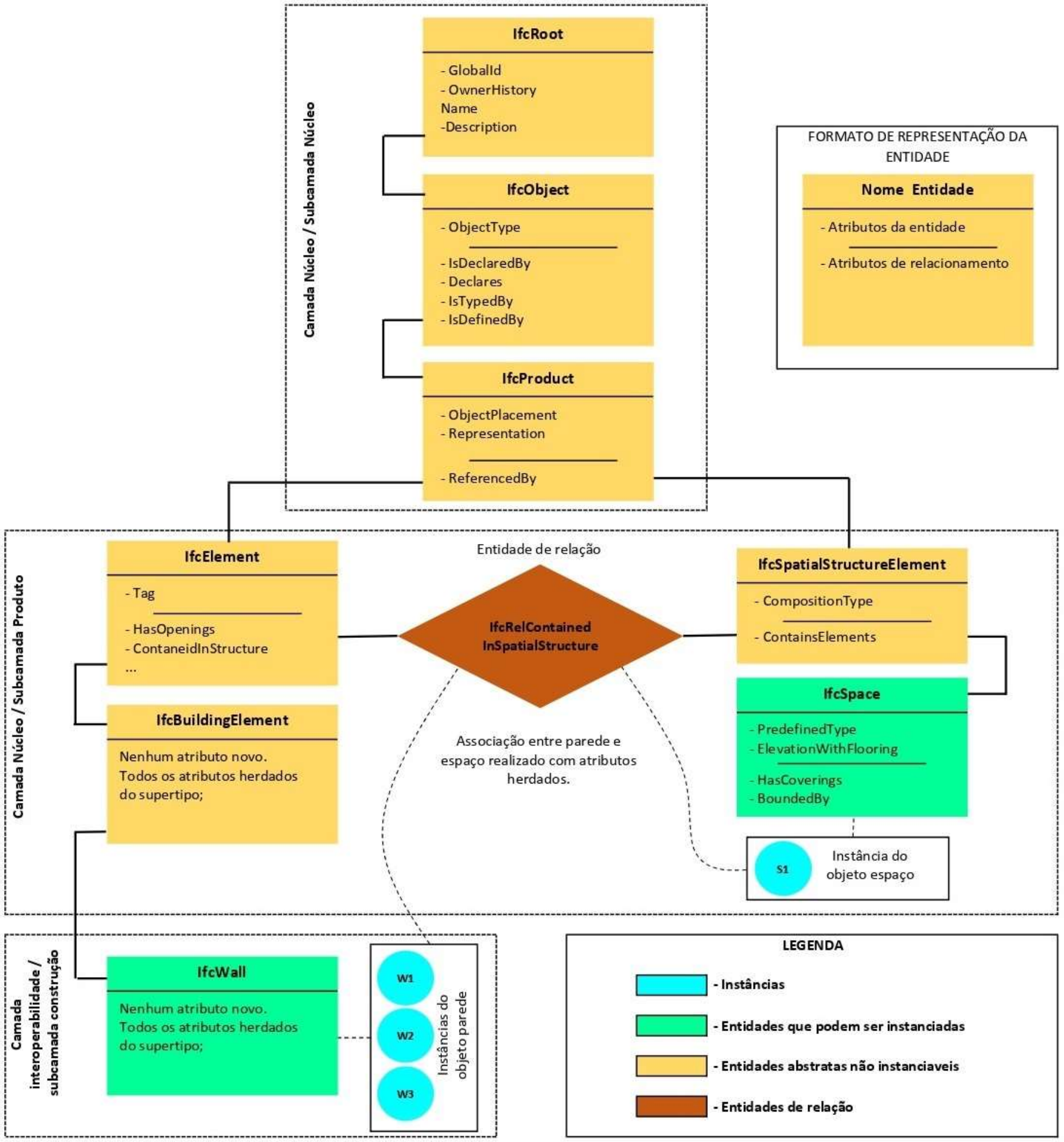
ANEXO B – MODELOS BIM



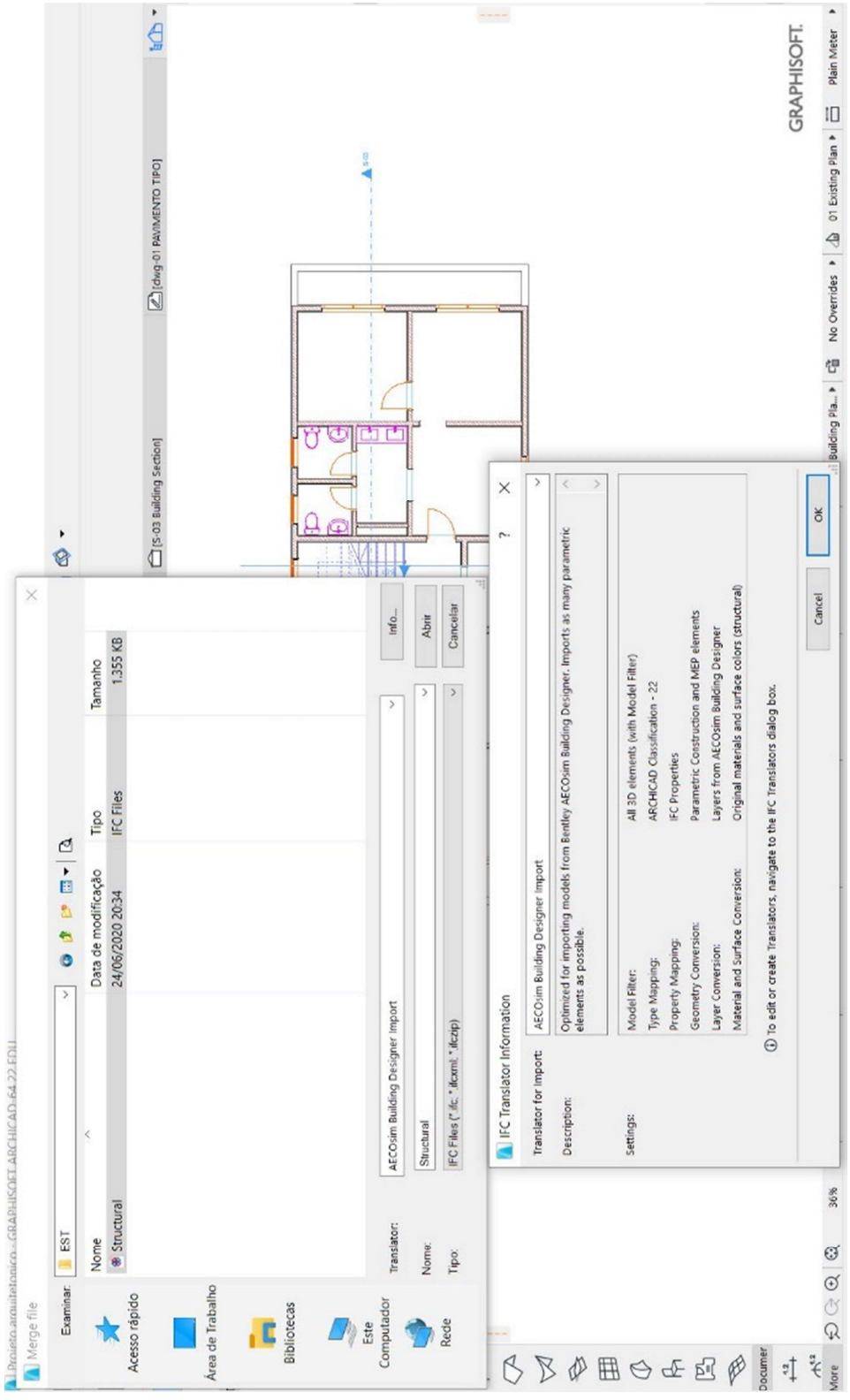


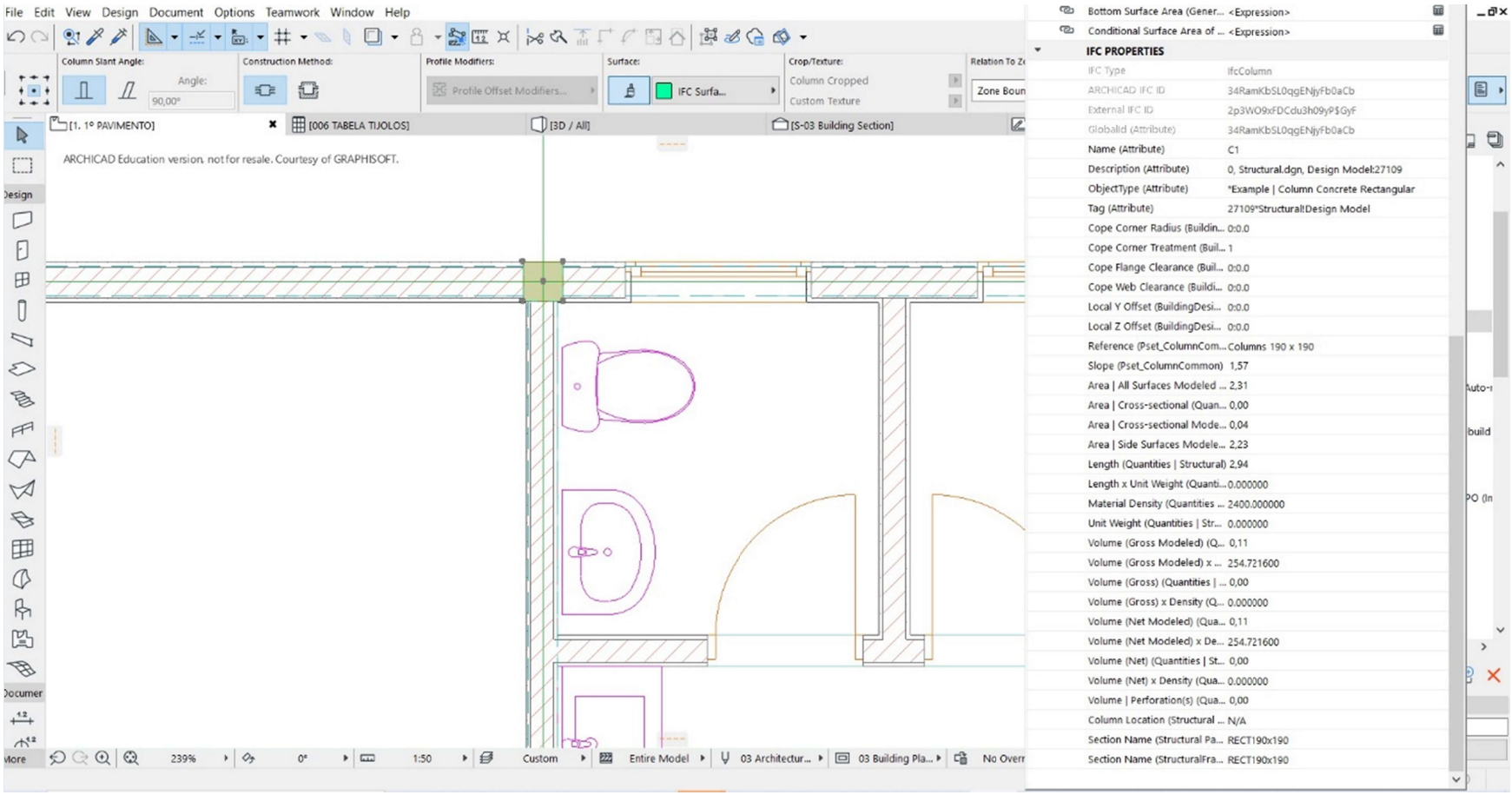
ANEXO C – CAMADAS IFC

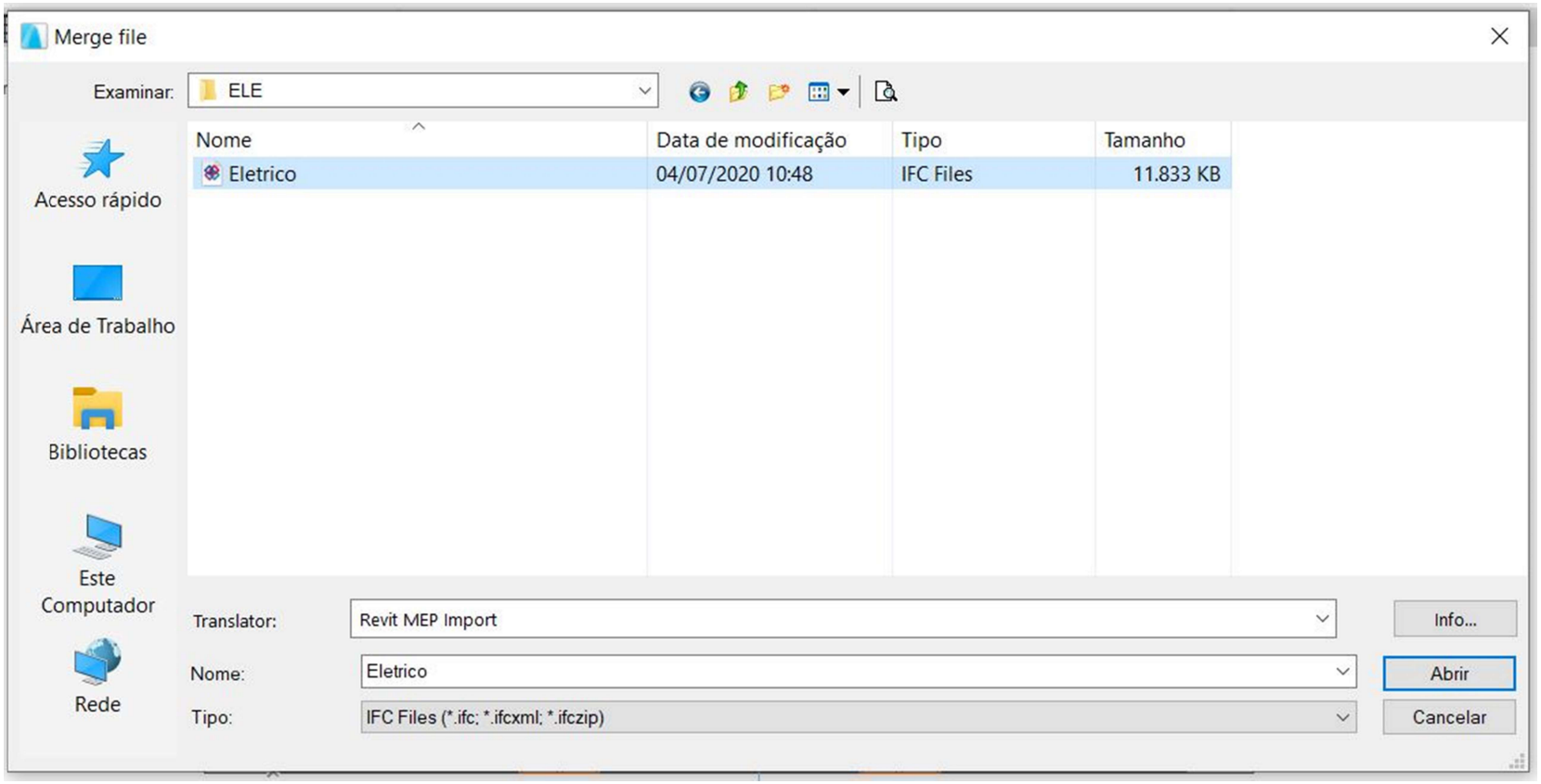


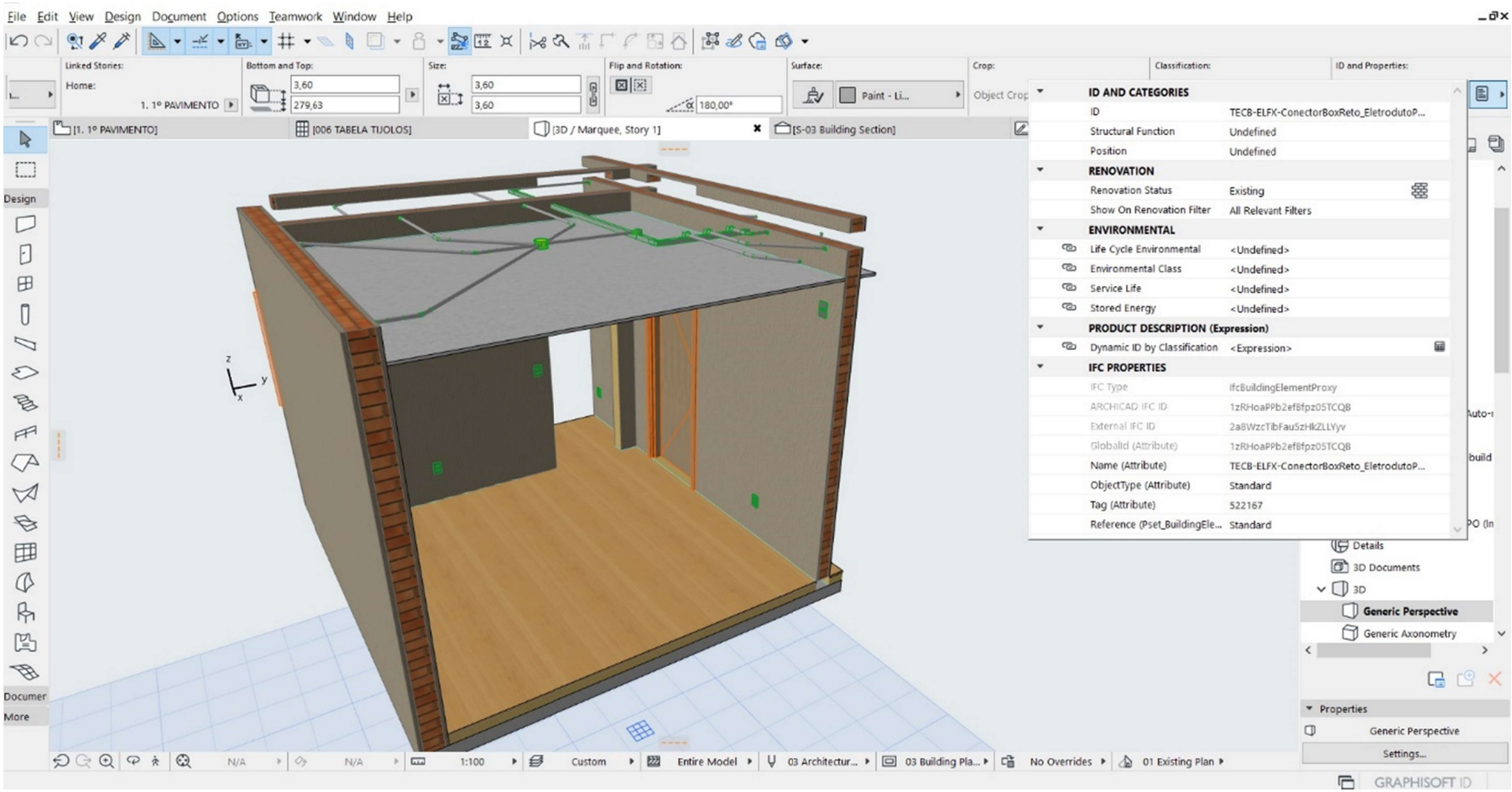

Camada Núcleo / Subcamada Núcleo
IfcRoot
- GlobalId
- OwnerHistory
Name
-Description
IfcObject
- ObjectType
- IsDeclaredBy
- Declares
- IsTypedBy
- IsDefinedBy
IfcProduct
- ObjectPlacement
- Representation
- ReferencedBy
FORMATO DE REPRESENTAÇÃO DA ENTIDADE
Nome Entidade
- Atributos da entidade
- Atributos de relacionamento
Camada Núcleo / Subcamada Produto
IfcElement
- Tag
- HasOpenings
- ContaneidInStructure
...
IfcBuildingElement
Nenhum atributo novo.
Todos os atributos herdados
do supertipo;
Entidade de relação
IfcRelContained
InSpatialStructure
Associação entre parede e
espaço realizado com atributos
herdados.
IfcSpatialStructureElement
- CompositionType
- ContainsElements
IfcSpace
- PredefinedType
- ElevationWithFlooring
- HasCoverings
- BoundedBy
S1
Instância do
objeto espaço
Camada
interoperabilidade /
subcamada construção
IfcWall
Nenhum atributo novo.
Todos os atributos herdados
do supertipo;
W1
W2
W3
Instâncias do
objeto parede
LEGENDA
- Instâncias
- Entidades que podem ser instanciadas
- Entidades abstratas não instanciaveis
- Entidades de relação

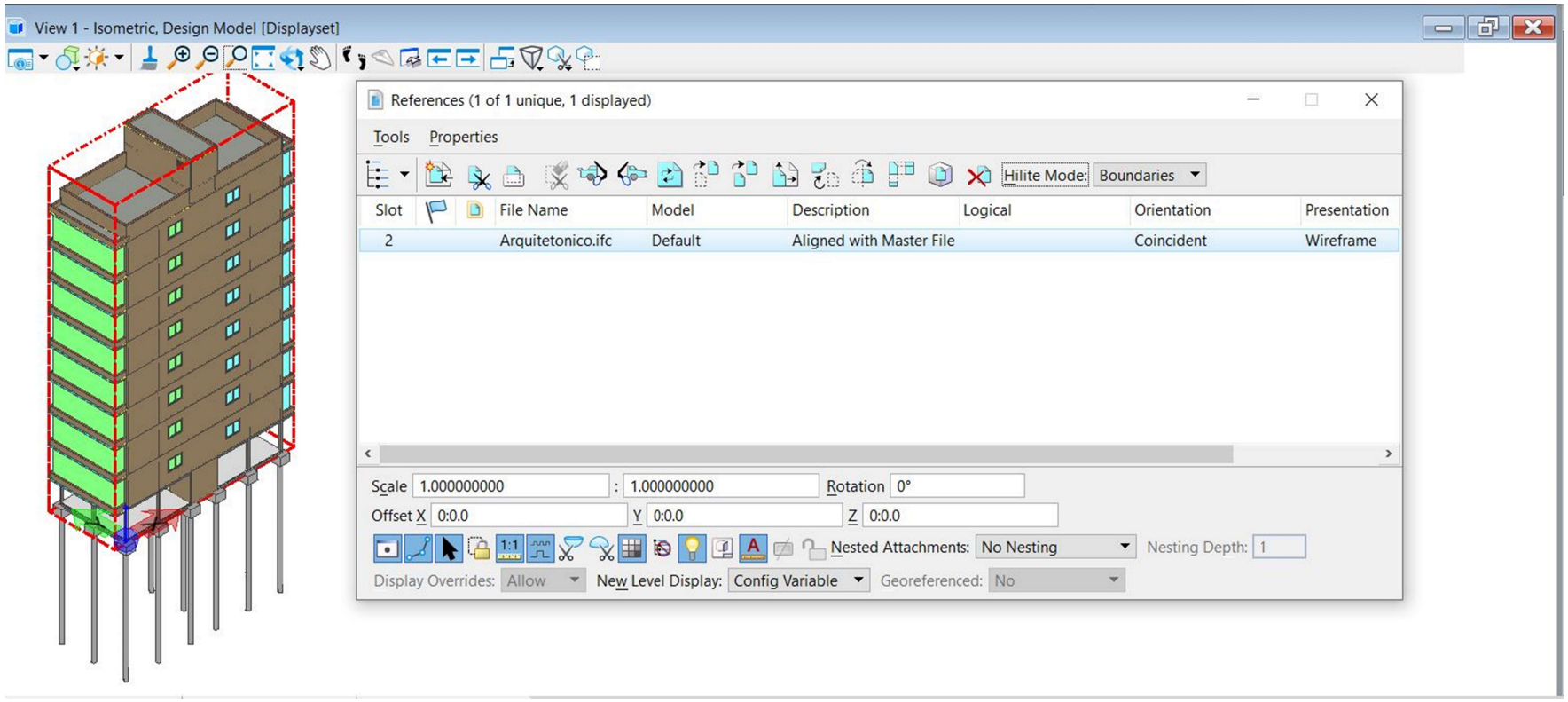
ANEXO D – DETALHES MODELOS

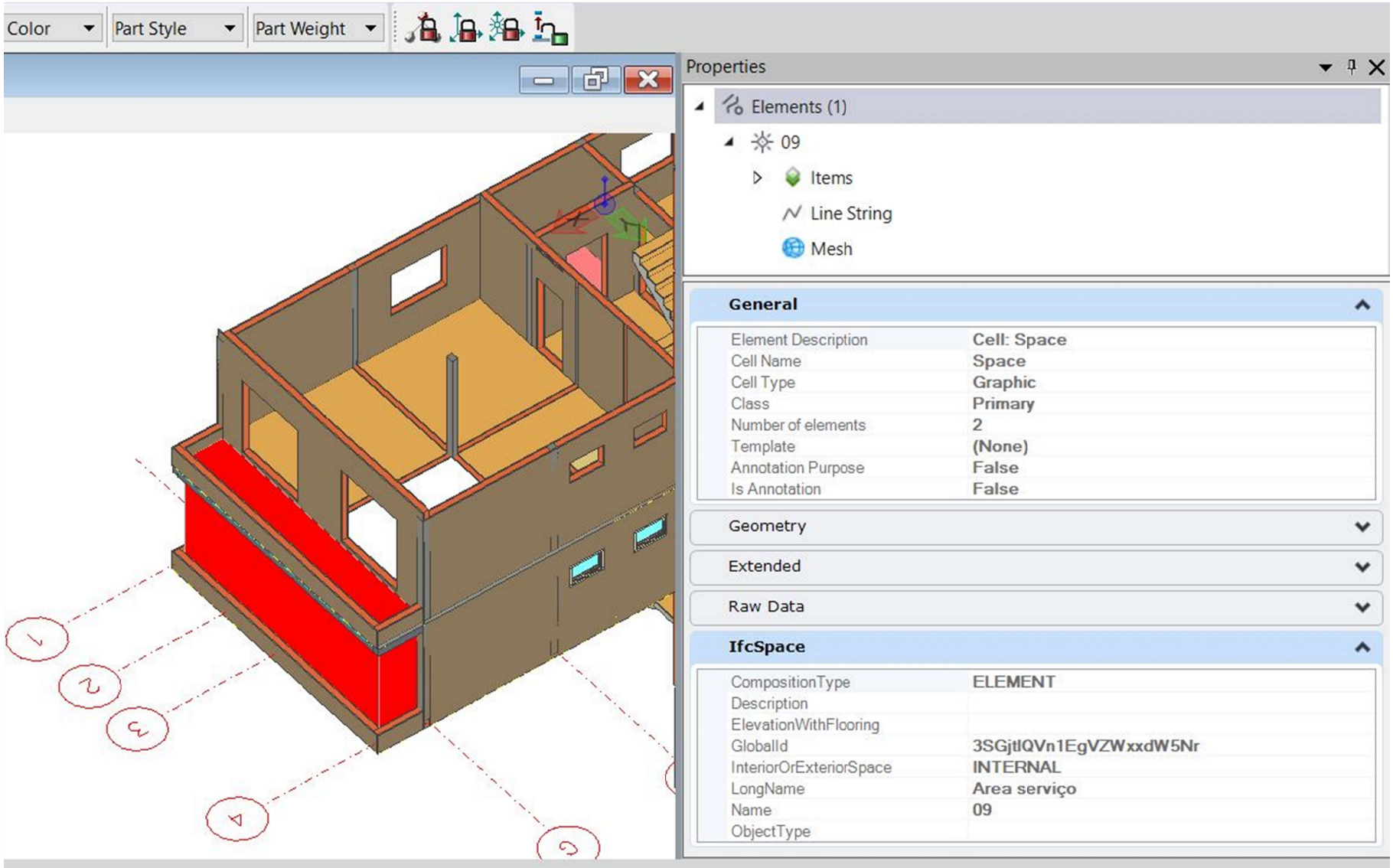


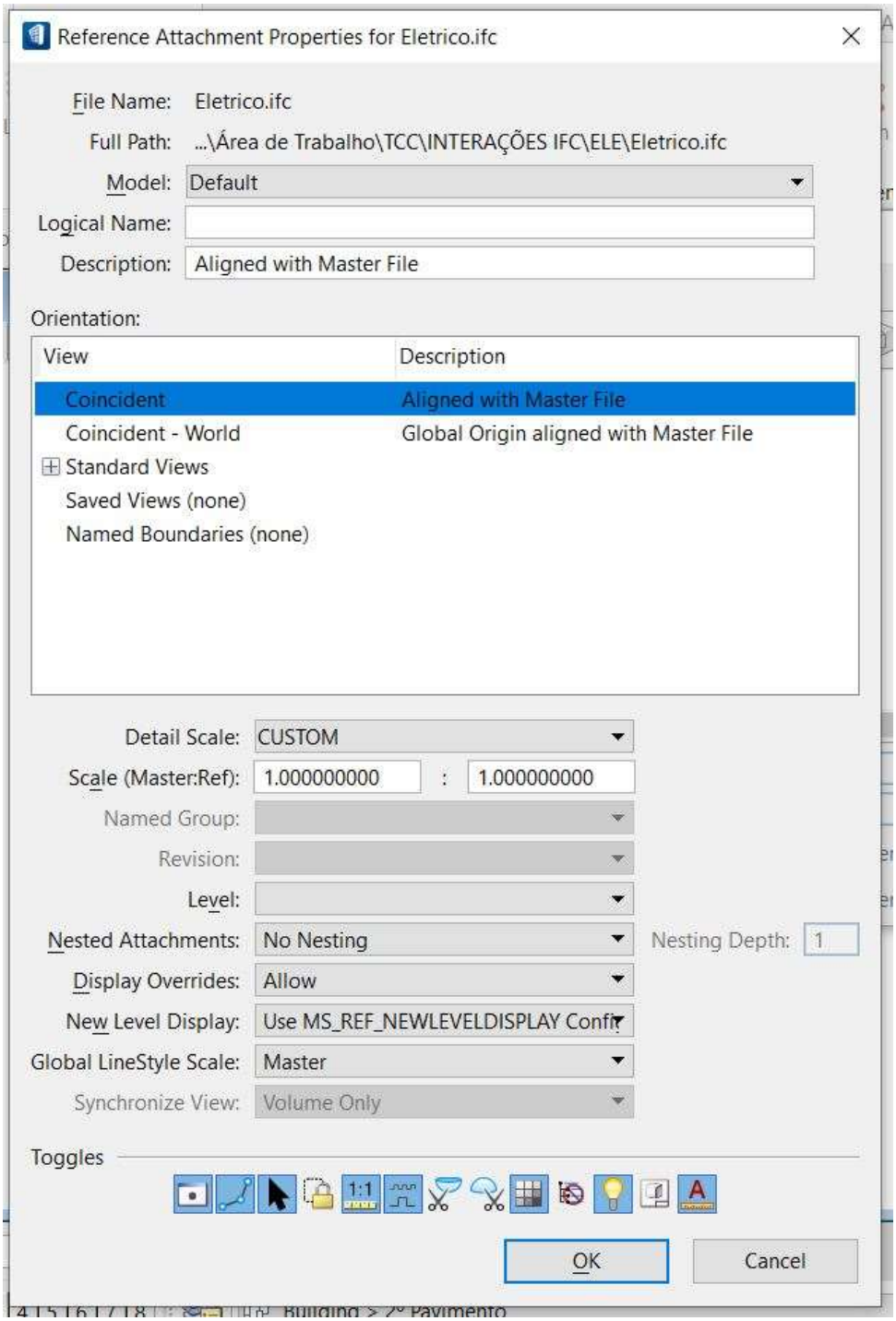

File Edit View Design Document Options Teamwork Window Help
Column Slant Angle:
Angle:
90,00°
Construction Method:
Profile Modifiers:
Profile Offset Modifiers...
Surface:
IFC Surfa...
Crop/Texture:
Column Cropped
Custom Texture
[1. 1º PAVIMENTO]
[006 TABELA TIJOLOS]
[3D / All]
[S-03 Building Section]
ARCHICAD Education version, not for resale. Courtesy of GRAPHISOFT.
239%
0°
1:50
Custom
Entire Model
03 Architectur...
03 Building Pla...
Bottom Surface Area (Gener... <Expression>
Conditional Surface Area of ... <Expression>
IFC PROPERTIES
IFC Type IfcColumn
ARCHICAD IFC ID 34RamKbSL0qgENjyFb0aCb
External IFC ID 2p3WO9xFDCdu3h09yP$GyF
GlobalId (Attribute) 34RamKbSL0qgENjyFb0aCb
Name (Attribute) C1
Description (Attribute) 0, Structural.dgn, Design Model:27109
ObjectType (Attribute) *Example | Column Concrete Rectangular
Tag (Attribute) 27109*Structural!Design Model
Cope Corner Radius (Buildin... 0:0.0
Cope Corner Treatment (Buil... 1
Cope Flange Clearance (Buil... 0:0.0
Cope Web Clearance (Buildi... 0:0.0
Local Y Offset (BuildingDesi... 0:0.0
Local Z Offset (BuildingDesi... 0:0.0
Reference (Pset_ColumnCom... Columns 190 x 190
Slope (Pset_ColumnCommon) 1,57
Area | All Surfaces Modeled ... 2,31
Area | Cross-sectional (Quan... 0,00
Area | Cross-sectional Mode... 0,04
Area | Side Surfaces Modele... 2,23
Length (Quantities | Structural) 2,94
Length x Unit Weight (Quanti... 0.000000
Material Density (Quantities ... 2400.000000
Unit Weight (Quantities | Str... 0.000000
Volume (Gross Modeled) (Q... 0,11
Volume (Gross Modeled) x ... 254.721600
Volume (Gross) (Quantities | ... 0,00
Volume (Gross) x Density (Q... 0.000000
Volume (Net Modeled) (Qua... 0,11
Volume (Net Modeled) x De... 254.721600
Volume (Net) (Quantities | St... 0,00
Volume (Net) x Density (Qua... 0.000000
Volume | Perforation(s) (Qua... 0,00
Column Location (Structural ... N/A
Section Name (Structural Pa... RECT190x190
Section Name (StructuralFra... RECT190x190

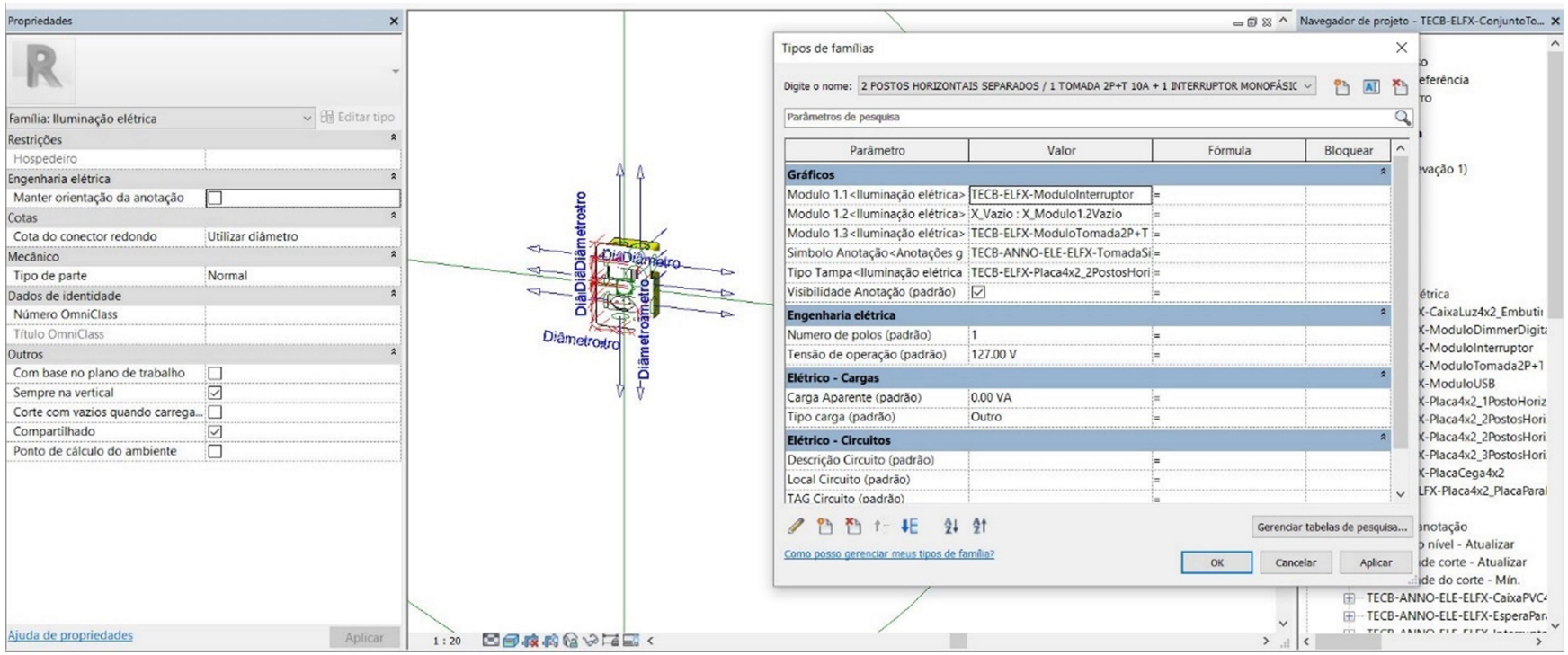

Merge file
Examinar:
ELE
Nome
Data de modificação
Tipo
Tamanho
Eletrico
04/07/2020 10:48
IFC Files
11.833 KB
Acesso rápido
Área de Trabalho
Bibliotecas
Este Computador
Rede
Translator:
Revit MEP Import
Info...
Nome:
Eletrico
Abrir
Tipo:
IFC Files (*.ifc; *.ifcxml; *.ifczip)
Cancelar


File Edit View Design Document Options Teamwork Window Help
Linked Stories:
Home:
1. 1º PAVIMENTO
Bottom and Top:
3,60
279,63
Size:
3,60
3,60
Flip and Rotation:
180,00°
Surface:
Paint - Li...
Crop:
Classification:
ID and Properties:
[1. 1º PAVIMENTO]
[006 TABELA TIJOLOS]
[3D / Marquee, Story 1]
[S-03 Building Section]
ID AND CATEGORIES
ID
TECB-ELFX-ConectorBoxReto_EletrodutoP...
Structural Function
Undefined
Position
Undefined
RENOVATION
Renovation Status
Existing
Show On Renovation Filter
All Relevant Filters
ENVIRONMENTAL
Life Cycle Environmental
<Undefined>
Environmental Class
<Undefined>
Service Life
<Undefined>
Stored Energy
<Undefined>
PRODUCT DESCRIPTION (Expression)
Dynamic ID by Classification
<Expression>
IFC PROPERTIES
IFC Type
IfcBuildingElementProxy
ARCHICAD IFC ID
1zRHoaPPb2ef8fpz05TCQB
External IFC ID
2a8WzcTibFau5zHkZLLYyv
GlobalId (Attribute)
1zRHoaPPb2ef8fpz05TCQB
Name (Attribute)
TECB-ELFX-ConectorBoxReto_EletrodutoP...
ObjectType (Attribute)
Standard
Tag (Attribute)
522167
Reference (Pset_BuildingEle...
Standard
Details
3D Documents
3D
Generic Perspective
Generic Axonometry
Properties
Generic Perspective
Settings...
Design
Documer
More
N/A
N/A
1:100
Custom
Entire Model
03 Architectur...
03 Building Pla...
No Overrides
01 Existing Plan
GRAPHISOFT ID


View 1 - Isometric, Design Model [Displayset]
References (1 of 1 unique, 1 displayed)
Tools
Properties
Hilite Mode:
Boundaries
Slot
File Name
Model
Description
Logical
Orientation
Presentation
2
Arquitetonico.ifc
Default
Aligned with Master File
Coincident
Wireframe
Scale
1.000000000
1.000000000
Rotation
0°
Offset X
0:0.0
Y
0:0.0
Z
0:0.0
Nested Attachments:
No Nesting
Nesting Depth:
1
Display Overrides:
Allow
New Level Display:
Config Variable
Georeferenced:
No


Color
Part Style
Part Weight
Properties
Elements (1)
09
Items
Line String
Mesh
General
Element Description Cell: Space
Cell Name Space
Cell Type Graphic
Class Primary
Number of elements 2
Template (None)
Annotation Purpose False
Is Annotation False
Geometry
Extended
Raw Data
IfcSpace
CompositionType ELEMENT
Description
ElevationWithFlooring
GlobalId 3SGjtlQVn1EgVZWxxdW5Nr
InteriorOrExteriorSpace INTERNAL
LongName Area serviço
Name 09
ObjectType


Reference Attachment Properties for Eletrico.ifc
File Name: Eletrico.ifc
Full Path: ...\Área de Trabalho\TCC\INTERAÇÕES IFC\ELE\Eletrico.ifc
Model: Default
Logical Name:
Description: Aligned with Master File
Orientation:
View
Description
Coincident
Aligned with Master File
Coincident - World
Global Origin aligned with Master File
Standard Views
Saved Views (none)
Named Boundaries (none)
Detail Scale: CUSTOM
Scale (Master:Ref): 1.000000000 : 1.000000000
Named Group:
Revision:
Level:
Nested Attachments: No Nesting
Nesting Depth: 1
Display Overrides: Allow
New Level Display: Use MS_REF_NEWLEVELDISPLAY Confi
Global LineStyle Scale: Master
Synchronize View: Volume Only
Toggles
OK
Cancel


Propriedades
Família: Iluminação elétrica
Editar tipo
Restrições
Hospedeiro
Engenharia elétrica
Manter orientação da anotação
Cotas
Cota do conector redondo
Utilizar diâmetro
Mecânico
Tipo de parte
Normal
Dados de identidade
Número OmniClass
Título OmniClass
Outros
Com base no plano de trabalho
Sempre na vertical
Corte com vazios quando carrega...
Compartilhado
Ponto de cálculo do ambiente
Ajuda de propriedades
Aplicar
Tipos de famílias
Digite o nome:
2 POSTOS HORIZONTAIS SEPARADOS / 1 TOMADA 2P+T 10A + 1 INTERRUPTOR MONOFÁSIC
Parâmetros de pesquisa
Parâmetro
Valor
Fórmula
Bloquear
Gráficos
Modulo 1.1<Iluminação elétrica>
TECB-ELFX-ModuloInterruptor
Modulo 1.2<Iluminação elétrica>
X_Vazio : X_Modulo1.2Vazio
Modulo 1.3<Iluminação elétrica>
TECB-ELFX-ModuloTomada2P+T
Simbolo Anotação<Anotações g
TECB-ANNO-ELE-ELFX-TomadaSi
Tipo Tampa<Iluminação elétrica
TECB-ELFX-Placa4x2_2PostosHori
Visibilidade Anotação (padrão)
Engenharia elétrica
Numero de polos (padrão)
1
Tensão de operação (padrão)
127.00 V
Elétrico - Cargas
Carga Aparente (padrão)
0.00 VA
Tipo carga (padrão)
Outro
Elétrico - Circuitos
Descrição Circuito (padrão)
Local Circuito (padrão)
TAG Circuito (padrão)
Gerenciar tabelas de pesquisa...
Como posso gerenciar meus tipos de família?
OK
Cancelar
Aplicar
Diâmetro
Diâmetro
Diâmetro
Diâmetro
1 : 20
Navegador de projeto - TECB-ELFX-ConjuntoTo...
TECB-ANNO-ELE-ELFX-CaixaPVC
TECB-ANNO-ELE-ELFX-EsperaPar

ANEXO E – TABELA ELEMENTOS ANALISADOS

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADES		COMPARATIVO (%)
			SOFTWARE NATIVO	NAVISWORKS	
1	Porta madeira 80x210cm	un.	34,00	34,00	0,00%
2	Porta madeira 70X210cm	un.	32,00	32,00	0,00%
3	Porta madeira 80x190	un.	1,00	1,00	0,00%
4	Janela dupla de correr 120x150cm	un.	16,00	16,00	0,00%
5	Janela dupla de correr 210X190cm	un.	32,00	32,00	0,00%
6	Janela maxim ar 60x90cm	un.	32,00	32,00	0,00%
7	Janela maxim ar 120x150cm	un.	9,00	9,00	0,00%
8	Janela veneziana fechada 60x60cm	un.	2,00	2,00	0,00%
9	Bacio sanitário	un.	32,00	32,00	0,00%
10	Lavatório banheiro tipo pedestal	un.	32,00	32,00	0,00%
11	Argamassa de vedação	m²	63,03	62,73	0,48%
12	Argamassa de vedação	m³	49,05	48,78	0,55%
13	Argamassa de contrapiso	m²	1042,71	1030,33	1,19%
14	Argamassa de contrapiso	m³	85,32	84,30	1,20%
15	Bloco cerâmico 6 furos 9x19x29cm	m²	84,84	83,47	1,62%
16	Bloco cerâmico 6 furos 11,5x19x29cm	m²	696,32	687,23	1,31%
17	Bloco cerâmico 6 furos 14x19x29cm	m²	1578,81	1576,74	0,13%
18	Forro gesso	m²	656,00	655,72	0,04%
19	Piso cerâmico esmaltado 61x61cm	m²	702,02	689,29	1,81%
20	Estaca concreto Ø400mm	m³	27,14	27,14	0,00%
21	Bloco coroamento 1000x1000x800mm	m³	14,40	14,40	0,00%
22	Viga baldrame 200x200mm	m³	2,61	2,53	3,07%
23	Pilares concreto	m³	19,01	19,01	0,02%
24	Vigas de concreto	m³	28,13	28,10	0,09%
25	Laje concreto maciço	m²	1354,58	1240,68	8,41%
26	Concreto industrializado 25Mpa	m³	166,15	152,46	8,24%
27	Eletrocalha / GE / Tipo U / Chapa #16 200x100mm	mt	52,40	52,35	0,10%
28	Perfilado metalico simples / Chapa #14 38x38mm	mt	193,20	193,19	0,01%
29	Eletroduto flexível corrugado / Tipo B / leve Ø25mm	mt	1261,00	1260,97	0,00%
30	Eletroduto flexível corrugado / Tipo B / leve Ø32mm	mt	80,60	80,62	0,02%
31	Eletroduto PEAD flexível corrugado Ø 2 1/2"	mt	13,20	13,20	0,00%
32	Junção interna "L" para perfilado	un.	48,00	48,00	0,00%
33	Saída lateral simples perfilado para eletroduto	un.	256,00	256,00	0,00%
34	Conector box reto	un.	256,00	256,00	0,00%
35	Caixa de luz 4x2"	un.	448,00	448,00	0,00%
36	Caixa octogonal com fundo removível	un.	96,00	96,00	0,00%
37	Placa 4x2" modular com 2 postos separados	un.	336,00	336,00	0,00%
36	Placa 4x2" modular com 1 posto horizontal	un.	48,00	48,00	0,00%
37	Modulo interruptor monofásico simples 10A	un.	208,00	208,00	0,00%
36	Modulo tomada 2P+T 10A	un.	528,00	528,00	0,00%
37	Quadro distribuição disjuntores 27/36 disjuntores	un.	16,00	16,00	0,00%
36	Quadro medição para 21 medidores	un.	1,00	1,00	0,00%
37	Disjuntor monofásico 16A	un.	16,00	16,00	0,00%
38	Disjuntor monofásico 20A	un.	64,00	64,00	0,00%
39	Disjuntor monofásico 50A	un.	16,00	16,00	0,00%