

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

ANÁLISE DE ATRIBUTOS DA MODELAGEM BIM 4D ASSOCIADA ÀS
PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO – UM ESTUDO REAL
COM PROJETO DE EDIFICAÇÃO VERTICAL

Autora: Patrícia Quintão Lima
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte
Julho/2020

PATRÍCIA QUINTÃO LIMA

**ANÁLISE DE ATRIBUTOS DA MODELAGEM BIM 4D ASSOCIADA ÀS
PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO – UM ESTUDO REAL
COM PROJETO DE EDIFICAÇÃO VERTICAL**

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão da Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2020

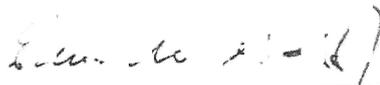
Patrícia Quintão Lima

**ANÁLISE DE ATRIBUTOS DA MODELAGEM BIM 4D ASSOCIADA ÀS
PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO – UM ESTUDO REAL
COM PROJETO DE EDIFICAÇÃO VERTICAL**

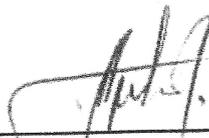
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 03 de Julho de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes
Orientador - UFMG/DEMC



Prof. Dr. Ayrton Vianna Costa
UFMG/DEMC



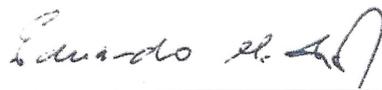
Profa. Dra. Raquel Diniz Oliveira
CEFET-MG

L732a	<p>Lima, Patrícia Quintão. Análise de atributos da modelagem BIM 4D associada às práticas de gerenciamento da construção – um estudo real com projeto de edificação vertical [recurso eletrônico] / Patrícia Quintão Lima. - 2020. 1 recurso online (138 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Eduardo Marques Arantes.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndice: f. 138. Bibliografia: f. 24-60.</p> <p>1. Construção civil - Teses. 2. Modelagem de informação da construção - Teses. 3. Métodos de simulação – Teses. 4. Construção civil – projeto auxiliado por computador – Teses. I. Arantes, Eduardo Marques. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 691 (043)</p>
-------	--

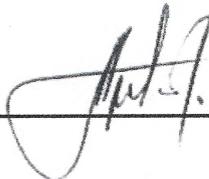
ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL Nº: 205, da aluna **PATRÍCIA QUINTÃO LIMA**.

Às quatorze horas do dia três de julho de dois mil e vinte, reuniu-se, por meio de sistema de interação de áudio e vídeo em tempo real (Meet da Google), a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, aprovada *ad referendum* pelo Coordenador do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE.UFMG, **Prof. Dr. Eduardo Chahud**, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **“ANÁLISE DE ATRIBUTOS DA MODELAGEM BIM 4D ASSOCIADA ÀS PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO – UM ESTUDO REAL COM PROJETO DE EDIFICAÇÃO VERTICAL”** requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL na área de: TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação do seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, sem a participação da candidata na transmissão, houve o julgamento e expedição do resultado final pela Comissão. Foram atribuídas as seguintes indicações:

PROF. DR. EDUARDO MARQUES ARANTES (ORIENTADOR)



PROF. DR. AYRTON VIANNA COSTA

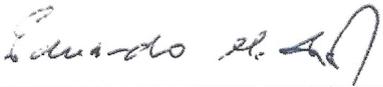


PROF^ª. DRA. RAQUEL DINIZ OLIVEIRA

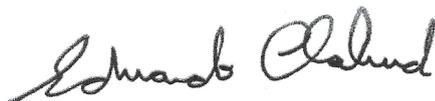


Pelas indicações dos membros acima, a candidata foi considerada aprovada com correções (aprovada ou reprovada). Caso tenham sido sugeridas correções no trabalho, conforme pareceres anexos, a candidata terá o prazo máximo de 60 (sessenta) dias para efetuá-las e entregar a versão final da dissertação à Secretaria do Curso de Mestrado em Construção Civil. O resultado final foi comunicado à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a transmissão e lavrou a presente ATA, que será assinada eletronicamente por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, três de julho de dois mil e vinte.

Assinaturas



Obs.: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo da Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil.



Prof. Dr. Eduardo Chahud
Coordenador do Mestrado
em Construção Civil da E.E.UFMG

“Eu quero desaprender para aprender de novo.
Raspar as tintas com que me pintaram.
Desencaixotar emoções, recuperar sentidos.”

Rubem Alves

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai e à minha mãe por serem figuras fortes, pelas primeiras lições diárias, por serem minha base. Ao meu pai, por não me deixar esquecer de cada leão diário que é preciso matar para seguir adiante. À minha mãe por me dar amor e respeitar as minhas decisões. Desejo que tenham orgulho da minha história, pois essa seria minha maior alegria.

Agradeço à minha irmã, Lady, e ao meu irmão, Marcos Janer, por serem luz e amor na minha vida. Obrigada por me completarem. Obrigada por caminharem junto comigo. Obrigada por me desafiarem a ser mais. Obrigada pelo colo que nunca me faltou.

Agradeço ao meu orientador Professor Eduardo Marques, por ter me aceito como sua orientada, pelo suporte para o desenvolvimento deste trabalho que seguramente contribuiu para meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço à Michelle Oliveira e Fernando Marques que foram fundamentais para a realização deste projeto.

Agradeço à minha turma de mestrado, em especial à Andrea Sá e à Maiara Lisboa, pela parceria e partilha de aprendizados, angústias e risadas.

Agradeço à Equipe thai fighters BH de muay thai por terem sido uma grande família nessa trajetória, por terem me dado esse título de mestra antes mesmo de eu realmente merecê-lo, essa força foi imensurável.

Agradeço a todos amigos, profissionais e familiares que passaram e/ou ainda continuam juntos na minha vida, que compartilharam experiências e que certamente me fizeram desenvolver e ser uma pessoa melhor.

Agradeço aos professores da UFMG pela dedicação pelo ensino de qualidade.

RESUMO

As simulações 4D se mostram relevantes para apoiar diversos aspectos do planejamento de projetos de construção civil em contraponto às técnicas tradicionais que dificultam a visualização e compreensão espacial. Construir baseado em modelos pode oferecer mais do que apenas uma visualização das sequências construtivas, na qual o termo "simulação 4D" é comumente entendido. Pesquisas recentes mostram que a modelagem *Building Information Modeling* (BIM) 4D pode melhorar o gerenciamento da construção no contexto organizacional em áreas como planejamento, gerenciamento de riscos, logística de canteiro, alocação de recursos, detecção de conflitos entre outros. Neste contexto, a presente pesquisa buscou explorar como o gerenciamento da construção pode ser impactado pelos recursos da modelagem BIM 4D. Escolheu-se a abordagem metodológica *constructive research* para a construção do conhecimento, na qual se buscou o desenvolvimento de um conjunto de prescrições para um problema real. A parte prática se deu com a adoção dos *softwares*: *ArchiCAD*, *Synchro PRO*, *Microsoft Office Project* com os dados reais de uma edificação vertical concluída de uma construtora que está implantando o BIM. Também houve a checagem complementar de algumas funções com dados simulados. A principal contribuição da pesquisa consistiu num conjunto de requisitos e num guia de boas práticas que viabilizam os atributos da tecnologia de modelagem 4D combinados com fluxos de trabalho estruturados na qual essas ferramentas podem ser adotadas com suas respectivas oportunidades e limitações. Os *softwares* selecionados indicaram o auxílio na implantação do BIM, sendo úteis para facilitar diversas funções de gerenciamento, tanto na fase de desenvolvimento como de construção, porém a manipulação não observante do contexto ou indevida em relação aos fluxos de trabalho pode ser improdutiva e não permitir o favorecimento do potencial efetivo dos mesmos.

Palavras-chave: simulação da construção, visualização da construção, modelagem BIM 4D, gerenciamento da construção civil

ABSTRACT

4D simulations are relevant to support various aspects of planning in civil construction projects as opposed to traditional techniques that difficult visualization and spatial understanding. Building based in models can offer more than just a visualization of construction sequences, in which the term "4D simulation" is now commonly understood. Recent research shows that Building Information Modeling (BIM) 4D can improve construction management in the organizational context in areas such as planning, risk management, construction site logistics, resource allocation, conflict detection, among others. In this context, the research sought to explore how construction management can be impacted by the features of BIM 4D modeling. The constructive research methodological approach for knowledge construction was chosen, in which the development of a set of prescriptions for a real problem was sought. The practical part was carried out through the software selection which were: *ArchiCAD*, *Synchro PRO*, *Microsoft Office Project* with a real data of a completed vertical construction by a company that is implementing BIM. Some functions were also checked with simulated data. The main contribution of the research consisted of a set of requirements and a guide of good practices that enable the attributes of 4D modeling technology combined with structured workflows in which these tools can be adopted with their respective opportunities and limitations. The selected softwares indicated the improvement in BIM the implantation, were being useful to facilitate many management functions, both in the development and construction phase, however the non-observant manipulation of the context or improper in relation to the workflows can be unproductive and do not favor the effective potential of themselves.

.

Keywords: construction simulation, construction visualization, 4D BIM modeling, construction management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Comparação no processo de troca de informações	25
Figura 02 – Níveis de maturidade na implantação do BIM	28
Figura 03 – Diagramação de processos distintos de modelagem 4D	38
Figura 04 – Atributos dos modelos 4D BIM de apoio ao gerenciamento	41
Figura 05 – Mapa dos fluxos do processo da integração IFC – <i>Software Synchro</i>	45
Figura 06 – Layout do canteiro com elementos temporários	47
Figura 07 – Modelagem 4D BIM no Ciclo de Vida do Projeto	51
Figura 08 – Componentes da abordagem da pesquisa <i>design science research</i>	62
Figura 09 – Delineamento da pesquisa	65
Figura 10 – Apto Tipo 01 – 235,96m ² – 4 suítes	72
Figura 11 – Apto Tipo 02 – 213,41m ² – 2 suítes e 2 semi-suítes	73
Figura 12 – Planta Pilotis	73
Figura 13 – Fachada de implantação do empreendimento de 21 andares	74
Figura 14 – Diagramação do processo de modelagem 4D	76
Figura 15 – Definição de requisitos dos elementos das alvenarias	78
Figura 16 – Parede interna modelada no <i>Archicad</i> pelo método composto	80
Figura 17 – Visão tridimensional do andar padrão do edifício modelado	81
Figura 18 – Corte visão geral (à esquerda) e detalhes construtivos (à direita)	82
Figura 19 – Propriedades não geométricas do elemento janela de correr	84
Figura 20 – Zona de concretagem modelada no <i>Archicad</i>	85
Figura 21 – ID pela classificação <i>Archicad</i> e pela propriedade IFC	86
Figura 22 – Vistas do modelo BIM gerado em <i>Archicad</i>	86
Figura 23 – Parte do cronograma original criado no Excel	88
Figura 24 – Modelo .icf da fundação e cronograma importados no <i>Synchro PRO</i>	91
Figura 25 – Campos de Importação do <i>Synchro Pro</i>	92
Figura 26 – Criação de Recursos	94

Figura 27 – Teste de conversão do cronograma Excel em <i>MS Project</i>	96
Figura 28 – 1ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho	97
Figura 29 – 2ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho	98
Figura 30 – 3ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho	99
Figura 31 – Visualização de filtro do 14º andar exportado com cores e transparência	101
Figura 32 – Tipos de Perfis de Aparência	102
Figura 33 – Simulação do Focus Time mostrando um estágio intermediário da sequência de construção na data de 28/09/2015	104
Figura 34 – Detecção de conflito do contrapiso sendo exibido antes da tarefa	105
Figura 35 – Exemplo de relatório de comunicação de inconsistências	106
Figura 36 – Relatórios emitidos após a sincronização do 3º e 5º pavimento	108
Figura 37 – Objetos que perderam a vinculação do recurso à tarefa após a sincronização	109
Figura 38 – Reposicionamento do nível do contrapiso após sincronização	110
Figura 39 – Tela com exibição simultânea do corte e vista completa	111
Figura 40 – Monitoramento do tempo dentro da <i>Timeline</i> no <i>Synchro</i>	114
Figura 41 – Combinação da janela 3D e da <i>Timeline</i> para monitoramento da linha de Base x Cenário	115
Figura 42 – Fluxograma da sincronização entre as importações de arquivos de planejamentos	116
Figura 43 – Simulação do caminhamento do guindaste com elemento temporário	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparativo de alguns atributos dos <i>softwares</i> BIM 4D	57
Tabela 02– Comparativo da checagem de quantidades da estrutura pelo Solibri e <i>Synchro</i>	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Plataformas BIM e últimas versões disponíveis	27
Quadro 02 – Documentos com conteúdo de implementação do BIM	32
Quadro 03 – Principais ferramentas BIM e últimas versões disponíveis	56
Quadro 04 – Comparativo entre as técnicas tradicionais e ferramentas BIM de planejamento	59
Quadro 05 – Comparativo da literatura das atividades pela DSR	63
Quadro 06 – Possíveis resultados pelo método DSR	64
Quadro 07 – Critérios para escolha de <i>softwares</i> de modelagem BIM	68
Quadro 08 – Principais elementos construtivos do empreendimento	74
Quadro 09 – Objetivos das fontes de evidência	75
Quadro 10 – Parâmetro ID de identificação das tarefas	88
Quadro 11 – Padrões de Importação/Exportação no <i>Synchro PRO</i>	89
Quadro 12 – Análise dos Atributos da Modelagem BIM 4D da Pesquisa	121
Quadro 13 – Análise dos Requisitos da Modelagem BIM 4D da Pesquisa	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRASIP – Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais
AEC – Arquitetura Engenharia e Construção
AIA – *American Institute of Architects* (Instituto Americano de Arquitetos)
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
BIM – Modelagem da Informação da Construção
CAD – *Computer Aided Design*
CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CDURP – Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro
CPM – *Critical Path Method*
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DSR – *Design Science Research*
EAP – Estrutura Analítica de Projetos
IPD - *Integrated Project Delivery*
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
LAN – *Local Area Network*
LOD – *Level of Development* (Nível de Desenvolvimento)
GPS - Sistema de Posicionamento Global
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NBP – Publicação BIM Notável
NURBS – *Non Uniform Rational Basis Spline*
PBM – Plano Brasil Maior
REID - Identificação por Radiofrequência
H/H – Homem Hora
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai-Fiemg),
SINFRA – Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística
SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais

TIC – Tecnologia da Informação e Construção

WBS – *Work Breakdown Structure*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Contextualização.....	16
1.2 Objetivos	21
1.3 Delimitações do Trabalho.....	21
2 APLICAÇÃO DO BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
2.1 Interoperabilidade	24
2.2 Plataformas BIM.....	26
2.3 Maturidade BIM.....	27
2.4 Incentivos para utilização do BIM na indústria AEC brasileira	31
3 MODELAGEM BIM 4D	35
3.1 Conceitos de Tecnologias 4D	35
3.2 Processos de Modelagem 4D e suas diferenças	37
3.3 Atributos Teóricos da Modelagem BIM 4D no apoio ao Gerenciamento da Construção.....	40
3.4 Requisitos da Modelagem BIM 4D	52
3.5 Ferramentas BIM 4D.....	56
3.6 Desafios da Modelagem BIM 4D.....	58
3.7 Comparação entre os Atributos obtidos com Planejamento Tradicional e o Planejamento usando Ferramentas BIM.....	59
4 MÉTODO DE PESQUISA	61
4.1 Estratégia de Pesquisa	61
4.2 Delineamento da Pesquisa	64
4.3 Fase Exploratória	67
4.3.1 Seleção dos <i>softwares</i> de modelagem	67
4.3.2 Treinamento dos <i>softwares</i> de modelagem	68
4.3.3 Caracterização da Empresa.....	69
4.4 Fase de Desenvolvimento.....	70
4.4.1 Métodos e Técnicas de Coleta e Análise de Dados.....	70
4.4.2 Estudo Exploratório.....	72
4.4.3 Processo de Modelagem	76
5 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS.....	100

5.1 Estudo Real.....	100
5.1.1 Visualização dinâmica de cronograma	100
5.1.2 Simulações 4D – Cenário <i>what-if</i>	102
5.1.3 Detecção de conflitos espaço-tempo	104
5.1.4 Integração e comunicação dos participantes do projeto	106
5.1.5 Re-planejamento.....	107
5.1.6 Tomada de decisão	110
5.1.7 Integração entre o projeto e o cronograma	111
5.2 Estudo Empírico.....	113
5.2.1 Monitoramento do Tempo.....	113
5.2.2 Construtibilidade e Logística de canteiro	117
5.2.3 Gerenciamento de saúde e segurança	119
5.2.4 Gerenciamento desde à concepção à operação.....	119
5.2.5 Alocação de recursos	120
6 RESULTADOS	121
6.1 Discussão dos Resultados.....	121
6.2 Conclusões	128
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda o escopo da pesquisa, incluindo a contextualização para o desdobramento do estudo, as justificativas, as questões de pesquisa, os objetivos da pesquisa, as delimitações do trabalho e, por último, a estrutura que compõe o estudo.

1.1 Contextualização

No Brasil, de acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2018), o setor da construção civil possui alta relevância na economia do país tendo representado em 2017, 5,2% do PIB brasileiro e 9,7% considerando os efeitos das atividades imobiliárias. Apesar de sua força, não foi suficiente para impedir os impactos da crise política econômica instaurada no país em 2014. Desta forma, verificou-se a diminuição do seu crescimento ininterruptamente até o ano de 2019. Neste cenário, soma-se ainda, o desafio de apresentar evolução tecnológica e cultural lenta nos seus processos produtivos e de gestão de projetos, sendo na maioria das vezes, considerado como tradicional e obsoleto conforme pontuaram Isatto *et al.* (2015), expondo assim, a necessidade da busca e investimentos por inovação.

A adoção de inovações como a Modelagem da Informação da Construção (BIM) em um setor intensivo em mão de obra com forte impacto social é condutora fundamental para a mudança e quebra de paradigmas na busca da sua modernização e o aumento da competitividade com ganhos de produtividade. Em um esforço conjunto, todos os *stakeholders* da construção, públicos ou privados, deveriam unir-se na busca pela integração de novas tecnologias, materiais, sistemas e processos construtivos em uma nova configuração de um caminho de mão única (ABDI, 2017).

Ao menos para uma minoria do setor, a adoção do BIM no Brasil poderia ser considerada uma realidade conforme indicam Santos e Suzuki (2015). Todavia Botton; Kubicki e Gilles (2015, p. 60) destacam que nos últimos anos seu uso está cada vez mais relacionado à eficiência e à qualidade das trocas de informações digitais, dinâmica esta que fomenta a colaboração entre os profissionais da construção.

Algumas pesquisas apontam que um dos usos mais difundidos associado ao BIM é o “Planejamento 4D” (SANTOS; SUZUKI, 2015). Botton; Kubicki e Gilles (2013) endossam que, como o planejamento da construção é em grande parte colaborativo graças ao desenvolvimento do BIM, o interesse do uso da simulação 4D está aumentando. Botton, Kubicki e; Gilles (2015, p. 59); bem como Biotto, Formoso; e Isatto (2013) descrevem que a simulação 4D consiste em ligar atividades discriminadas em um planejamento a objetos 3D em um modelo para simular o processo construtivo ao longo do tempo.

A pesquisa de Hanff; Tulk (2007, p. 79) destaca que esta ferramenta se mostra adequada para visualizar os dados da programação do tempo inerentemente abstratos e complexos, que por muitas vezes acabam enterrados em gráficos de Gantt profundamente aninhados. De modo complementar, o Guia da Verano (2017) indica que os modelos 4D ajudam as partes interessadas a analisar o cronograma e a visualizar conflitos que não são aparentes nos diagramas gráficos tradicionais de cronograma, pois uma vez que facilitam a visualização das restrições de tempo e bem como a proposição de oportunidades de melhorias.

A singularidade e a magnitude da indústria da construção dificultaram sua evolução lógica ao longo da história em comparação com outras indústrias não agrícolas. À título de exemplo, as suas taxas de produtividade são, em regra, inferiores à média da economia em todo o mundo (SINDUSCON, 2016). No Brasil, o Sindicato da Indústria da Construção Civil - SINDUSCON (2016) explicitou que a produtividade setorial da construção em 2003 era cerca de 32,5% inferior à média da economia e que esse diferencial se manteve até 2013, com pequenas oscilações. Outro ponto crítico são as restrições dos projetos que não estão frequentemente sendo satisfeitas devido às incertezas presente nos projetos (VELASCO, 2013) causadas muitas vezes, por fatores ambientais, erros de projeto, mudanças de escopo, falta de informações, falhas na comunicação e atrasos na entrega de materiais (BORTOLINI, 2015, p. 19).

O método tradicional de gestão da construção tem apresentado dificuldades para acompanhar, de forma eficiente, as exigências quanto a custos e prazos bem como a complexidade associada dos projetos. Velasco (2013, p. 14) acredita que as mudanças requeridas devem, em parte, concentrar-se na forma como a informação é gerida e visualizada durante todo o ciclo de vida dos projetos,

conduzindo, portanto, a uma melhor compreensão do projeto por todos os participantes.

Em consonância com o exposto a adoção do BIM tem permitido a melhoria da qualidade das construções, pois abrange um conjunto de políticas, processos e tecnologias baseadas em objetos virtuais, paramétricos e inteligentes que, combinados, possibilitam: a) gerar novos métodos para o processo de projetar uma edificação ou instalação; b) ensaiar seu desempenho e gerenciar informações e dados, utilizando plataformas digitais ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento; c) impulsionar a colaboração e a coordenação, além de que suas funcionalidades condicionam o desenvolvimento de projetos mais precisos em relação à obra real; d) reduz desperdícios, ajustes e problemas no processo de construção (CBIC, 2016).

Devido à importância da temática para se obter a modernização da construção no Brasil, o BIM está inserido na agenda estratégica do Plano Brasil Maior (PBM), programa do Governo Federal brasileiro para aumentar a competitividade da indústria nacional, como uma das prioridades da sua política para o setor da construção civil (ABDI, 2011).

Entretanto, Poças (2015) e Coelho (2016) detalham que há um conjunto de barreiras e limitações que dificultam a implantação do BIM na prática corrente profissional, sendo aquelas de natureza técnica têm sido continuamente ultrapassadas pelos fornecedores de *softwares*, pelos pesquisadores e pelas organizações. Porém, outra limitação a ser transposta é que há muitos usuários de ferramentas BIM para projetos usufruindo apenas da representação em três dimensões, sendo que os efetivos proveitos da utilização destas ferramentas são melhores visíveis e justificáveis quando aplicados à totalidade do projeto e durante todo o processo construtivo, referindo-se às demais dimensões BIM 3D, 4D, 5D e 6D. Desta forma, explorar os benefícios, valor e importância do BIM, assim como os desafios e riscos que dificultam a adoção do BIM 4D é crucial, pois afeta um projeto sob diferentes ângulos.

Barbosa (2014) mostra que a modelagem BIM 4D surge como um avanço e melhoria na gestão da construção, permitindo aos profissionais da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) simular e analisar as etapas da construção virtualmente, agregando maior compreensão e confiabilidade do cronograma,

detecção de erros e problemas potenciais antes da execução (Brito; Ferreira, 2015). Eastman *et al.* (2011) destacam também outros benefícios relacionados à melhoria da comunicação, facilitação do gerenciamento logístico, comparação de planos de execução e controle do avanço físico da construção. Barbosa (2014) elenca, em caráter complementar, a chance de detectar conflitos no processo construtivo pois, tradicionalmente, a interface que existia era humana, sujeita a interpretação do autor e que muitas das vezes resultavam em erros.

Algumas pesquisas sobre a modelagem BIM 4D (BANDEIRA *et al.*, 2018; BAIA, 2015) a abordaram como uma ferramenta de suporte ao planejamento restringindo-se aos estágios iniciais dos empreendimentos, ainda na fase de projeto e ao planejamento da pré-construção e com funções de visualização e simulação. Biotto (2012) propôs um método para o uso do BIM 4D no projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil, utilizando o Navisworks como *software* principal para o desenvolvimento da pesquisa. Baia (2015) e Brito (2015) também utilizaram a ferramenta Navisworks, sendo que Baia (2015) propôs um método de pesquisa e utilização do BIM para o planejamento e Brito (2015) aplicou o BIM não só ao planejamento, mas também ao controle de obras. Kassem *et al.* (2012) alertaram para o indício que muitos consultores parecem ter um conhecimento limitado dos benefícios do planejamento 4D.

No Brasil, as pesquisas científicas desenvolvidas a cerca de diversos aspectos do BIM vem crescendo, porém, as publicações relacionadas aos aspectos dos atributos da tecnologia de modelagem e análise BIM 4D combinados com fluxos de trabalho vantajoso para as práticas de gerenciamento da construção ao longo do ciclo de vida do empreendimento se mostram incipiente, especialmente em relação ao uso do *Synchro PRO*, uma plataforma integrada de planejamento 4D da construção. Desta forma, o estudo ora apresentado é plenamente justificável por se tratar de um tema recente, caracterizado como oportunidade de pesquisa e que tende a contribuir na diminuição das fragilidades do cenário da construção civil.

A presente pesquisa buscou desenvolver a modelagem BIM 4D de uma edificação concluída em uma construtora em fase de implantação BIM a partir do adoção da abordagem metodológica *constructive research* para a organização do conhecimento, com o objetivo de identificar requisitos necessários dos atributos da modelagem BIM 4D, além de detalhar quais as dinâmicas de gerenciamento da

construção civil que podem ser auxiliadas por essa dimensão do BIM, assim como, as oportunidades e limitações dos seus usos associados. Em caráter secundário, mas não menos importante, também foram discutidas as limitações técnicas no processo tradicional de planejamento, discriminando as características da etapa de implantação BIM em uma construtora de Belo Horizonte e além de analisar, na prática, os pontos positivos e negativos da nova tecnologia aplicada a um empreendimento de construção.

A estrutura da pesquisa dividiu-se em duas partes, sendo a primeira definida partir de revisão da literatura na qual foi apresentado o potencial das funções dos *softwares* e processos da modelagem 4D BIM e, em seguida, após delimitação de alguns *softwares* disponíveis que permitam este ambiente colaborativo da modelagem BIM 4D, intentou-se analisar se esses *softwares* específicos realmente cumprem as funções descritas.

O fluxo de trabalho da parte prática deu-se com a adoção dos *softwares*: *ArchiCAD*, *Microsoft Office Project* e dentre os diferentes *softwares* 4D BIM disponíveis, o *Synchro Academy* fornecido pela empresa Verano e foi utilizado por permitir o uso acadêmico e dispor de treinamento gratuito *online*. Os dados para checagem das funções baseou-se em um caso real de uma edificação vertical previamente concluída junto a uma construtora que está implantando o BIM. Na situação nas quais as funções não foram realizadas pelo método tradicional de gerenciamento da obra, fez-se uma simulação empírica para permitir o seu teste.

A questão principal desta pesquisa trata-se de: **Como os requisitos necessários ao desenvolvimento dos atributos da modelagem 4D BIM podem impactar as dinâmicas de gerenciamento da construção civil?**

A partir da questão de pesquisa principal, foram propostas as seguintes questões secundárias:

- Como as dinâmicas de gerenciamento da construção podem ser auxiliadas pela modelagem BIM 4D e quais são as oportunidades e limitações dos seus usos associados?
- Como escolher e combinar uma seleção específica de *softwares* que permitam o ambiente colaborativo da modelagem BIM 4D e cumpram seus requisitos teóricos?

- Como é desenvolvido o processo de implantação BIM 4D em uma construtora de Belo Horizonte e quais são as vantagens e dificuldades encontradas em decorrência desse novo processo?

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver a modelagem BIM 4D de uma edificação concluída em uma construtora em fase de implantação BIM de modo a identificar os requisitos necessários ao desenvolvimento dos atributos da modelagem 4D que possam impactar em seus diferentes usos nas dinâmicas de gerenciamento da construção civil.

E como objetivos específicos, pretende-se alcançar os seguintes pontos:

- analisar se uma combinação específica de *softwares* realmente cumpre seus atributos teóricos gerais e se permitem o ambiente colaborativo da modelagem BIM 4D;
- discriminar dinâmicas de gerenciamento da construção que possam ser auxiliadas pela modelagem BIM 4D assim como as oportunidades e limitações dos seus usos associados;
- analisar melhorias com uso da modelagem BIM 4D frente as limitações do processo tradicional de planejamento na construção civil;
- analisar, para um caso concreto, as boas práticas necessárias da nova tecnologia aplicada a um empreendimento em uma construtora de Belo Horizonte.

1.3 Delimitações do Trabalho

Os estudos que compõem este trabalho foram relacionados à um empreendimento composto de uma edificação vertical de 21 pavimentos realizados em parceria com uma construtora em fase de implantação BIM, com a adoção de um conjunto específico de *softwares* que permitiu alcançar os objetivos deste trabalho. A partir desta limitação, não foi possível estender de maneira direta os resultados para outros *softwares* similares, tipologias construtivas ou organizações.

Trata-se de um estudo exploratório, pois essa pesquisa apresenta algumas limitações:

- a modelagem BIM 4D é possível de ser desenvolvida por meio de várias combinações de *softwares* em diversos ambientes alcançando-se vários estágios e diversas funções de acordo com cada situação, ademais os dados restringiram-se às informações da construtora supracitada, desta forma os requisitos alcançados foi para uma seleção específica de *softwares* e não permite a generalização dos dados. As informações não necessariamente representam o comportamento de empresas similares e nem a pesquisa tem a pretensão de ser conclusiva;
- pretendeu-se obter elementos para um melhor entendimento a respeito da temática e do problema real encontrado. Uma análise que permita uma maior generalização exigiria outras técnicas, com uma amostra de empresas significativamente maior, simulações com diversos outros tipos de *softwares* e um tratamento quantitativo dos dados.

Este trabalho é estruturado em seis capítulos. O presente capítulo apresentou a contextualização, justificativas, as questões de pesquisa, os objetivos a serem alcançados e a delimitação do estudo.

O capítulo 2 refere-se à revisão de literatura da aplicação do BIM na construção civil, tendo sido necessário discorrer sobre os conceitos de interoperabilidade e quais são as plataformas que suportam a tecnologia BIM. Neste mesmo capítulo realizou-se um apanhado sobre a situação de implantação BIM na indústria AEC brasileira, seus incentivos além de relatar sobre os desafios a serem transpostos no processo de implantação do BIM.

O capítulo 3 explorou a bibliografia sobre a modelagem BIM 4D. O capítulo tem início com a explanação sobre a 4ª dimensão do BIM, tempo, explicitando as práticas tradicionais de planejamento e como a tecnologia 4D pode agregar. Na sequência, o capítulo abordou a evolução do *computer aided design* 4D (CAD 4D) para a modelagem BIM 4D e apresentou quais são os usos da modelagem BIM 4D para apoiar o gerenciamento da construção. O capítulo ainda abrangeu quais são os requisitos que permitem o desenvolvimento da modelagem BIM 4D e quais são as plataformas que suportam seus usos.

O capítulo 4 descreveu o método de pesquisa adotado neste trabalho. Assim, iniciou-se com a descrição da estratégia de pesquisa escolhida, a qual auxiliará o alcance dos objetivos propostos e, em seguida, apresentou o delineamento do processo de pesquisa, como também o detalhamento das etapas a serem realizadas com base em *Design Science Research*. Ademais, relatou sobre as características do estudo de caso, a caracterização da empresa, a seleção de *softwares* além de explicar os métodos e técnicas que foram utilizados para coleta e análise de dados.

O capítulo 5 descreveu o desenvolvimento do estudo com a avaliação de funcionalidades reais da seleção de *softwares* escolhidos, a fim de comparar os requisitos teóricos com as suas possibilidades reais. Na sequência, finaliza-se o capítulo com a proposição e discussão dos resultados que foram observados.

No capítulo 6 foram apresentadas as conclusões, as discussões sobre a pesquisa desenvolvida, a síntese das principais contribuições além de sugestões para trabalhos futuros.

2 APLICAÇÃO DO BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O presente capítulo dedica-se a explicar brevemente algumas noções relevantes da metodologia BIM que fundamentam a parte prática da pesquisa. Foram abordadas as plataformas que suportam a tecnologia, suas dimensões e como está o cenário da indústria da AEC para a implantação do BIM. Não obstante, faz-se necessário situar os desafios a serem transpostos e algumas outras questões importantes que precisam ser esclarecidas antes de começar o próximo capítulo sobre a modelagem BIM 4D foco desta pesquisa.

2.1 Interoperabilidade

Há duas principais condicionantes presentes no BIM que o distinguem dos sistemas de CAD tradicionais, sendo elas a modelagem paramétrica e a interoperabilidade (EASTMAN *et al.*, 2011).

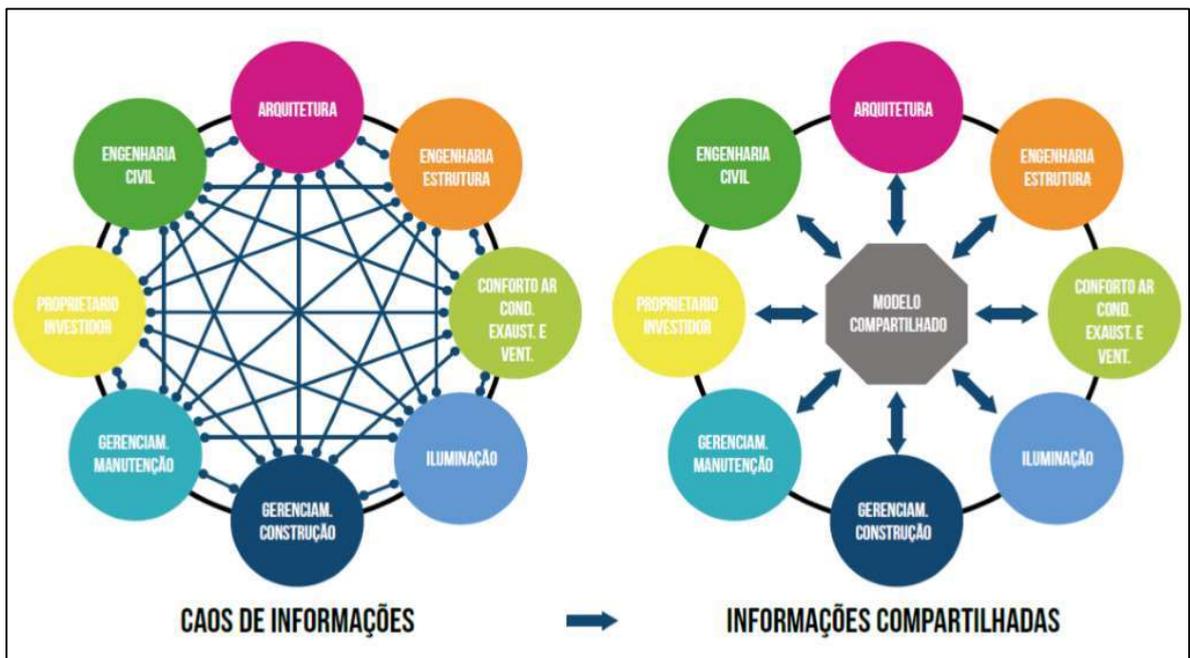
A primeira permite retratar os objetos por parâmetros e regras associados à sua geometria, assim como, integrar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Modelos de construção baseados em objetos paramétricos permitem a extração de relatórios, verificação de inconsistências nas relações entre objetos e incorporação de informações de projeto, a partir dos modelos. A interoperabilidade é uma condição para o desenvolvimento de uma prática integrada (BAIA, 2015). O uso de uma prática integrada com times de colaboração é viável com a integração da informação entre aplicativos computacionais, utilizados por diferentes profissionais de projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

No contexto BIM, Barbosa (2014) descreve que a interoperabilidade se define como a capacidade de transmissão de dados entre aplicações, partilha de informação, bem como a faculdade de várias aplicações trabalharem conjuntamente permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão.

A proposta é que todas as disciplinas de projeto e obra trabalhem de forma integrada, não sequencial e individualizada. Na Figura 01 é retratada a diferença entre os processos tradicionais e àqueles que segue a lógica BIM. Verifica-se que

a necessidade de replicar dados de entrada que foram gerados de antemão pode ser eliminada facilitando, portanto, o fluxo de trabalho entre os diferentes *softwares*, durante o processo de projeto (BAIA, 2015). A troca direta de dados reduz a possibilidade da geração de dados duplicados, a introdução repetitiva da mesma informação e de erros humanos.

Figura 01 - Comparação no processo de troca de informações



Fonte: CBIC (2016)

Segundo Soares (2013), a necessidade da criação de uma plataforma de partilha que permitisse comunicação entre os diferentes *softwares* se deve ao progressivo aumento do uso do BIM e da quantidade de informação produzida que tem gerado problemas de interoperabilidade entre *softwares*. Para realizar esse intercâmbio de dados entre os aplicativos, existem diferentes formatos de intercâmbio. Dentre esses, o formato *Industry Foundation Classes* (IFC) é o mais importante e tem sido formalmente adotado por vários governos e organizações em todo o mundo (BAIA, 2015).

O IFC é um formato aberto e independente de armazenamento de dados desenvolvido pela *buildingSMART*, que permite a troca de informação entre diferentes aplicações de *software* utilizados pelos vários intervenientes do projeto.

Registado pela ISO como ISO / PAS 16739 encontra-se em processo de se tornar um formato internacional ISO / IS 16739:2013 (buildingSMART, 2018).

O modelo de dados IFC consiste nas definições, regras e protocolos que devem ser seguidos pela base de dados para a descrição de todo o ciclo (BAIA, 2015). Tais condições permitem que os desenvolvedores de *software* criem interfaces de IFC de modo que estes permitam a concessão e troca da mesma informação no mesmo formato entre programas diferentes, sem que aconteça incompatibilidade entre eles. Os objetos descritos pelo modelo IFC compartilham informações essenciais para o BIM. Estes objetos servem de suporte do modelo para planejamento, desenho, construção e outras operações do processo (*International Alliance for Interoperability*, 2008).

Velasco (2013) esclarece que objetos definidos pela aplicação proprietária, quando traduzidos para o modelo IFC, são compostos pelo tipo de objeto relevante, geometria, relações e propriedades associadas. Mas, apesar da capacidade do IFC de representar uma ampla gama de projetos de construção, informações de engenharia e de produção, ainda existem limitações quanto à geometria, relações e propriedades dos objetos representados.

Em que pese essas limitações, o formato IFC está sendo adotado como padrão para troca de dados, tanto no setor público quanto privado. Ele está constantemente em evolução e novas extensões são lançadas a cada dois anos, disponibilizadas pelas firmas de *softwares* BIM, que desenvolvem implementações de tradutores das extensões do modelo IFC, os quais são submetidos à certificação. Desta forma, espera-se que essas limitações desapareçam à medida que novas versões do IFC sejam definidas e implementadas (BAIA, 2015).

2.2 Plataformas BIM

Acreditar que BIM seja um *software* não é correto. Existem diversos *softwares* que trabalham com o BIM (cerca de 150 homologados pela *Building Smart*). Cada produto apresenta características e capacidades diferentes, tanto em relação aos sistemas orientados ao projeto quanto às ferramentas de produção BIM. Baia (2015) destaca que a escolha de um *software* afeta as práticas de

produção, interoperabilidade e as capacidades funcionais de uma organização para elaborar determinados tipos de projetos.

A metodologia de trabalho do BIM requer a adoção de *softwares* como plataformas de *design*. Alguns desses aplicativos disponíveis e mais utilizados conforme Eastman *et al.* (2011) até o momento foram listados na Quadro 01 e classificados por empresa. Destaca-se que nenhuma plataforma será ideal para todos os tipos de empreendimentos, tendo cada uma particularidades e vantagens que não serão frutos desta pesquisa.

Quadro 01 – Plataformas BIM e últimas versões disponíveis

EMPRESA	PLATAFORMAS BIM	LOGO
Autodesk	Revit (Architecture, Structures, MEP) <i>Última Versão: Revit 2019</i>	 AUTODESK REVIT
Graphisoft	ArchiCAD <i>Última Versão: ArchiCAD21</i>	GRAPHISOFT. ARCHICAD
Bentley	Bentley Architecture <i>Última Versão: Bentley Architecture V8i</i>	 Bentley
Nemetschek	Allplan Architecture <i>Última Versão: Allplan Architecture 2018</i>	 NEMETSCHEK Allplan
Gehry Technologies	Digital Project <i>Última Versão: Digital Project V1, R5</i>	 Gehry Technologies
Tekla	Tekla Structures* <i>Última Versão: Tekla Structures 19</i>	 TEKLA Structures

Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2011)

Apesar do Quadro 01 destacar *softwares* individuais, a indústria de *softwares* tem ofertado, cada vez mais, um conjunto (“*Suites*”) de programas que possam ser integrados nas diversas etapas do BIM.

2.3 Maturidade BIM

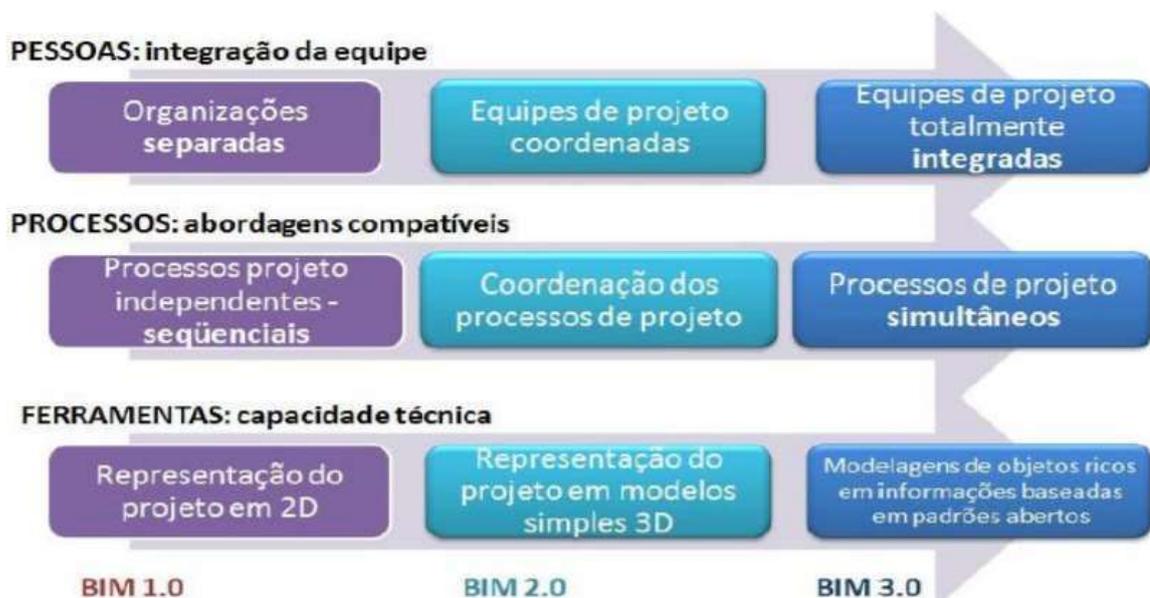
Quando se trata de falar sobre os níveis de implementação do BIM, várias definições e classificações de diferentes naturezas estão disponíveis. Borges

(2013) destaca que está cada vez mais notório para pesquisadores que as mudanças proporcionadas pela utilização do BIM não se limitam ao emprego de *softwares*.

Os *softwares* e computadores são os meios, mas a verdadeira força do BIM está na informação, interação, colaboração e organização (CARMONA; CARVALHO, 2017). Como há uma quebra de paradigma, faz-se necessário um novo olhar sobre os processos realizados até então, para que a implantação seja eficaz e traga resultados positivos. Para Succar (2009), a adoção completa do BIM não ocorre de forma imediata. O autor propõe estágios de maturidade em BIM, estabelecendo requisitos mínimos que caracterizam o nível de adoção no qual o profissional, equipe ou empresa se encontra.

Essas etapas estão relacionadas ao número de disciplinas envolvidas nos projetos, quais fases do ciclo de vida da edificação são abordadas e os níveis de mudanças que ocorrem em termos de políticas adotadas, processos e tecnologia utilizados. Os níveis BIM e suas principais atividades podem ser observadas na figura 02.

Figura 02 – Níveis de maturidade na implantação do BIM



Fonte: Andrade (2012)

Neste contexto, têm-se:

- Nível 0: o nível de maturidade mais baixo seria baseado em CAD 2D básico sem requisitos específicos de colaboração e com documentação em papel (física ou eletrônica) para compartilhamento de dados. Não há colaboração entre as diferentes disciplinas.

- Nível 1: *Design* baseado em 2D ou até CAD 3D, começando a usar padrões para uma produção de informações e compartilhamento de dados mais eficazes. Os dados gráficos ainda carecem de inteligência e não há integração entre desenhos e outras funções, como programação e estimativa de custos. Apesar do avanço em relação ao Pré-BIM, o processo de trabalho ainda ocorre de forma não colaborativa.

- Nível 2: a adoção do BIM entra nesse nível, bem como é necessário um ambiente 3D. A informação é anexada aos objetos gráficos que podem ser usados para outros propósitos. O gerenciamento de bibliotecas, a estruturação de dados e alguns outros requisitos comuns são definidos para facilitar a troca de dados. Neste nível de integração entre diferentes plataformas poderia ser alcançado por meio de aplicativos proprietários, mas não de uma maneira totalmente aberta, ou de exportações no formato IFC entre *softwares* em BIM. Succar (2009) cita que apenas um dos modelos precisa conter as informações da geometria do edifício, para permitir as trocas semânticas em BIM. É caracterizado principalmente pela utilização das dimensões 4D e 5D.

- Nível 3: o nível mais alto de maturidade do BIM inclui o gerenciamento do ciclo de vida de dados interoperáveis totalmente integrados e um servidor de modelo baseado na Web para colaboração. Assim, os membros da equipe podem participar, independentemente de sua localização e o *software* usado não importa mais. Tudo seria integrado em um repositório ou modelo de dados único. Contempla os princípios da construção enxuta e da inteligência de negócios, políticas de sustentabilidade e análise de operação da edificação durante todo o seu ciclo de vida.

- Entrega integrada de projetos: O último estágio consiste na obtenção do chamado *Integrated Project Delivery* (IPD). Este representa uma modalidade de contrato que pressupõe um grande nível de confiança entre todos os participantes, compartilhando decisões, riscos e recompensas.

Em segundo lugar, o conceito de nível de desenvolvimento (LOD – *Level of Development*) também faz parte do BIM. De acordo com o Instituto Americano de Arquitetos (AIA), "descreve o nível de completude para o qual um Elemento de Modelo é desenvolvido" (AIA, 2008). Em outras palavras, os requisitos de conteúdo para os elementos em um modelo BIM são descritos em cada um desses níveis, para uma melhor troca de informações entre os membros do projeto em um ambiente contratual.

AIA (2008) define 5 LOD diferentes: (1) LOD 100, (2) LOD 200, (3) LOD 300, (4) LOD 400 e (5) LOD 500. Como os níveis são acumulativos eles incluem seus anteriores, por exemplo, LOD 200 inclui LOD 100, etc. Ao mesmo tempo, cada um deles corresponde a um estágio do projeto: (1) projeto conceitual, (2) projeto esquemático, (3) documentos de construção, (4) fabricação / montagem e (5) condições construídas, *as-built*. Assim, os objetos modelos aproximam-se dos produtos de construção reais à medida que os projetos avançam (EASTMAN *et al.*, 2011).

Além dos níveis de maturidade e LOD, a introdução de funcionalidades extras à metodologia BIM resulta naquilo que é comumente reconhecido como dimensões BIM referentes a áreas de possível implementação. Longe de ser apenas uma ferramenta de modelagem 3D, o BIM é uma abordagem multidimensional (nD) que integra muitas funções de negócios no processo de lidar e conservar as informações (JOO; JUNG, 2011). Isso é em parte alcançado pela integração de dados gráficos e não gráficos. Desta forma, 4D, 5D, 6D, ..., nD estão tomando lugar ao lado do acrônimo BIM: 4D BIM para gerenciamento de tempo, 5D BIM para gerenciamento de custos, e assim por diante.

Por fim, para representar uma hierarquia, os aplicativos também podem ser nivelados em: (1) ambiente BIM, (2) plataformas BIM e (3) ferramentas BIM (Eastman *et al.*, 2011). O primeiro refere-se à integração de diferentes plataformas e ferramentas BIM dentro de uma organização para otimizar o gerenciamento de dados e outras funções da empresa em sistemas como servidores BIM. O segundo inclui principalmente aplicativos de *design* nos quais o modelo de dados original é criado. A saída das plataformas BIM é normalmente exportada para as ferramentas BIM, que são o terceiro tipo de aplicativos em que é possível realizar tarefas específicas.

2.4 Incentivos para utilização do BIM na indústria AEC brasileira

Aos poucos o BIM vem deixando de ser uma tendência e passa a ser uma realidade para a indústria da construção civil (BORGES, 2019). Caso essa adoção não seja feita ou seja tardia, é provável que essas empresas sejam aos poucos excluídas do mercado de trabalho (EASTMAN *et al.*, 2014). Conforme Borges (2019), a sua adoção tem crescido a cada ano e a tendência é que todas as empresas tenham adotado esta tecnologia em algum momento, assim como deu-se a transição dos projetos em pranchetas para o CAD.

Esse movimento é evidenciado pela crescente intensidade das discussões em torno do BIM e pela disponibilidade acelerada de Publicações BIM Notáveis (NBP's). Os NBP's são documentos industriais disponíveis publicamente, incorporando diretrizes, protocolos e requisitos focados em produtos e fluxos de trabalho BIM. Essas publicações são o produto de vários órgãos, associações industriais, comunidades de práticas e instituições de pesquisa, designados a facilitar a adoção do BIM e realizar o potencial de valor agregado do BIM (BORGES, 2019).

Órgãos governamentais tem sido os maiores incentivadores para a adoção do BIM, por meio da definição de exigências indicando as diretrizes e padronizações na utilização da metodologia (SMITH; TARDIF, 2009). Por incentivo do governo ou por iniciativa própria de associações não governamentais, alguns países criaram guias, roteiros ou orientações para a implementação do BIM. Wanderley (2017) realizou uma pesquisa de dezenove destes documentos e observou que a maior parte traz variadas pautas, como conceitos fundamentais do BIM, boas práticas, padrões nacionais, configuração do arquivo para iniciar o modelo, para elaborar bibliotecas e *templates*. Borges (2019) destaca que apenas oito apresentam abordagem direta de implementação, os quais constam na Quadro 02.

No contexto de regulamentação nacional brasileira, por uma iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) em 2009, criou-se a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção, ABNT/CEE-134, que incumbiu-se de desenvolver normas técnicas sobre BIM. Existem duas normas sobre o BIM em vigor, a NBR ISO 12006:2018 e

a NBR 15965-1:2011. Essa é a primeira norma brasileira que trata do Sistema de Classificação de Informações, sendo uma adaptação da OMNICLASS, o sistema de classificação de normas americanas que oferece à indústria da construção a possibilidade de padronização para o todo país da nomenclatura utilizada nos seus processos.

A AsBEA – Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura lançou o "Guia AsBEA Boas Práticas em BIM", sendo o primeiro fascículo publicado em 2013 e o segundo em 2014. Em 2016, a CBIC lançou a "Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras do CBIC";

Quadro 02 – Documentos com conteúdo de implementação do BIM

País	Organização	Documento	Ano
EUA	US Army Corp of Engineering (USACE) e Engineer Research and Development Center (ERDC)	Building Information Modeling (BIM) Roadmap	2006
EUA	The Construction Users Roundtable (CURT)	BIM Implementation: An Owner's Guide to Getting Started	2010
EUA	Computer Integrated Construction Research Program (CICRP)	Building Information Modeling Project Execution Planning Guide 2.0	2010
EUA	US Army Corp of Engineering (USACE) e Engineer Research and Development Center (ERDC)	Building Information Modeling (BIM) Roadmap - Supplement	2011
Brasil	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura	Guia AsBEA: Boas práticas em BIM (Fascículo I e II)	2013
Austrália	National Building Specification (NATSPEC)	Getting Started with BIM	2014
UK	AEC UK CAD & BIM Standards	AEC UK BIM Technology Protocol	2015
Brasil	Câmara Brasileira da Indústria da Construção	Coletânea implementação BIM em construtoras e incorporadoras	2016

Fonte: Borges (2019) adaptado de Wandely (2017)

Também são observadas iniciativas governamentais em nível nacional, bem como ações isoladas de alguns estados. Marçal (2018) realizou um levantamento em que a Petrobrás fez-se pioneira em determinar a elaboração de projetos na plataforma para a elaboração do projeto executivo e construção da Unidade Operacional da Bacia de Santos — a sede do pré-sal em BIM. Também teve a adoção pela CDURP (Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região

do Porto do Rio de Janeiro), em uma licitação para elaboração, em BIM, de estudos de viabilidade físico-financeira de terrenos na Área de Especial Interesse Urbanístico do Porto do Rio de Janeiro no mesmo período.

O Inpi (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) solicitou na licitação do projeto básico em BIM de reforma do edifício A Noite, no Rio de Janeiro, que abriga boa parte dos departamentos do órgão. O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) passou a exigir em edital que todos os projetos de engenharia deveriam ser realizados na plataforma BIM e serem georreferenciados eletronicamente, no final de 2013. A ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), em 2014, exigiu o uso BIM na licitação para o desenvolvimento de projetos de 270 aeroportos regionais e na licitação referente à construção de dois hospitais feita pelo governo de Santa Catarina em 2014 (MARÇAL, 2018).

Por meio da Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística (Sinfra), o estado do Mato Grosso (MT) lançou um edital para projetos em 3D para rodovias, exigindo o uso BIM. Em outubro de 2017, a Sinfra apresentou o edital para contratação de empresas para executar projetos utilizando a plataforma BIM para 3.500 km de estradas, em busca de maior qualidade e confiabilidade nos projetos (BORGES, 2019).

A iniciativa do Mato Grosso representou passo importante, mas Santa Catarina (SC) tem exigido o uso do BIM para todas as obras públicas. No ano de 2014, a Secretaria de Estado do Planejamento de SC declarou que passaria a exigir o uso da plataforma em suas obras e licitações a partir de 2018. Com isso, fez-se publicado o Caderno BIM, contendo os procedimentos para desenvolvimento de projetos seguindo essa metodologia.

O desenvolvimento do Caderno teve a colaboração da Coordenar, empresa de consultoria que desenvolveu as suas especificações técnicas. O intuito esteve em determinar especificações de interoperabilidade que permitam que todos os profissionais de projeto, independente do *software* de modelagem utilizado, possam participar das concorrências de projetos. No mesmo ano, firmou-se um acordo de cooperação técnica com a Secretaria de Infraestrutura e Logística do Paraná para implementar o BIM nos dois estados.

No final de 2016, o Rio Grande do Sul também formalizou um acordo com o Estado de SC, visando trocar experiências sobre a tecnologia. Outro grande

passo em direção ao BIM no Brasil refere-se à criação do Comitê Estratégico de Implementação do *Building Information Modeling* (CE-BIM), em junho de 2017. A finalidade da CE-BIM é propor uma estratégia nacional de disseminação do BIM, as suas diretrizes e prioridades de atuação. Fundada em agosto de 2017, a Câmara Brasileira de BIM (CBIM) possui o objetivo de discutir políticas públicas de implementação e disseminação do BIM no Brasil.

Outro grande avanço brasileiro em direção ao BIM foi realizado em maio de 2018. Por meio do Decreto nº 9377, o Governo Federal instituiu a Estratégia Nacional de disseminação do Building Information Modeling, também chamada de Estratégia BIM BR, com a finalidade de difundir o BIM no país. A proposta é de que a exigência do BIM seja feita de forma graduada. De forma resumida, a partir de janeiro de 2021 os modelos para as disciplinas de arquitetura, estrutura, hidráulica, Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado - AVAC e elétrica deverão, obrigatoriamente, ser elaborados em BIM. Em janeiro de 2024, será obrigatório abranger o planejamento da obra, orçamentação e atualizar as informações do modelo construído (*as built*). Em janeiro de 2028, o BIM será exigido para todo o ciclo de vida da obra.

Uma semana após o lançamento da Estratégia BIM BR, nos dias 23 e 24 de maio de 2018, realizou-se o 1º Encontro BIM dos Governos Latino Americanos (1º *Encuentro BIM de Gobiernos Latino-americanos*). O evento dirigiu-se à governos da América Latina que estão interessados em adotar o BIM em seus projetos de construção pública.

Desde 2018 em Belo Horizonte é realizado o Seminário BIM - SeBIM através da parceria do Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais (Abrasip-MG), em conjunto com a Câmara Brasileira de BIM, o Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (Sinduscon-MG), o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae-MG) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai-Fiemg), em que profissionais da construção civil e as principais empresas do setor da construção em Minas Gerais se reúnem para debater sobre a tecnologia e os cases de empresas que utilizam o BIM no dia a dia.

3 MODELAGEM BIM 4D

O presente capítulo busca restringir o foco das oportunidades dos usos BIM para seu uso específico no apoio ao gerenciamento de projetos a partir da 4ª Dimensão, o tempo. Para tanto, aborda conceitos da tecnologia 4D e quais as diferenças entre CAD 4D para o BIM 4D. Nesta etapa se fez necessário um estudo mais aprofundado de como é desenvolvida a modelagem BIM 4D, seus requisitos teóricos e quais as plataformas que suportam essa tecnologia para permitir a fase de desenvolvimento do método desta pesquisa.

3.1 Conceitos de Tecnologias 4D

Projetistas desdobravam uma estrutura 3D mental em vários componentes e ilustrava-os em plantas e seções, usando representações 2D para descrever o que eles queriam projetar (ASCE, 2007). Construtores, em contraponto, invertem o processo. Asce (2007) reporta a necessidade de ler as plantas e seções em 2D dos projetistas e montá-los de volta na estrutura mental 3D para entender o produto a ser construído em um mundo 3D. No momento de representar um empreendimento, as ferramentas tradicionais de projeto geralmente apresentam seu estado final e completo sem prestar atenção à sua variação ao longo do tempo (FISCHER *et al.*, 2005). Como resultado, uma das principais limitações dos modelos 3D é a sua incapacidade de mostrar o status exato do progresso da construção (WANG *et al.*, 2004).

Desenvolver um cronograma de construção é ainda mais difícil porque os construtores precisam desmontar a estrutura em pacotes viáveis, identificar os relacionamentos entre esses pacotes e configurar uma ordem de execução desses pacotes de trabalho passo a passo (ASCE, 2007). Para a elaboração de um planejamento construtivo, Velasco (2013) diz ser exigido um olhar mais dinâmico da sequência que permita visualizar estágios intermediários, porém os planejadores fazem uso tradicionalmente de ferramentas tais como, diagrama de barras, diagramas de rede (PERT - *Program Evaluation and Review Technique* e - *Critical Path Method*), que não é de fácil compreensão à todos os integrantes do projeto, visto não exibem características espaciais e exigem um alto nível de

abstração para criar uma representação mental (KOO; FISCHER, 1998; CHAU *et al.*, 2004).

A partir da incorporação do atributo tempo a um ambiente 3D (x, y, z) resulta-se em um ambiente 4D (x, y, z, t), (VELASCO, 2013). Fukai (2005) detalha que a quarta dimensão é uma questão de relatividade dimensional e que para um objeto ser considerado em quatro dimensões, ele deve necessariamente estar em três dimensões e ser representado em sua quarta dimensão continuamente, permitindo o observador visualizar as mudanças no modelo ao longo do tempo de forma contínua (BIOTTO, 2012; FUKAI, 2005).

A representação de uma sequência de imagens tridimensionais não pode ser considerada um ambiente 4D pois se trata de imagens e, por consequência, arquivos 2D (FUKAI, 2005). Porém, os primeiros conceitos sobre tecnologia 4D remetem ao final da década de 80 (EASTMAN *et al.*, 2011) e retratam-na como uma técnica de visualização de processos de construção baseado em geometria (KOO; FISCHER, 1998), pois a partir do uso de ferramentas 3D, construtoras começaram a combinar manualmente, junto ao modelo, fotografias virtuais instantâneas de cada fase do projeto, emergindo assim o termo 4D CAD (BIOTTO, 2012; VELASCO, 2013).

A partir da evolução dos pacotes de *softwares* no decorrer dos anos, as ferramentas tornaram-se mais inteligentes em relação aos objetos de construção nas suas relações e atributos (FUKAI, 2005) permitindo a criação automática das conexões entre a geometria 3D e as atividades (KOO; FISCHER, 1998). Brevemente, tem-se que os modelos 4D são a combinação dos modelos 3D com as atividades de construção (HARTMANN *et al.*, 2007). Sendo assim, Eastman *et al.* (2011) descreve que por meio da modelagem 4D é possível simular graficamente em detalhes o plano de progresso da construção e do canteiro ao longo do tempo, entre outras aplicações (EASTMAN *et al.*, 2011).

Com a progressiva adoção do BIM no setor de AEC, a tecnologia 4D passou a ser integrada no processo BIM. Acredita-se que a sua combinação na mesma metodologia de trabalho pode ajudar os projetos devido às diversas vantagens (VELASCO, 2013), que foram detalhadas no item 3.3. As tecnologias 4D sofreram uma evolução durante as últimas décadas, deixando um grupo de diferentes gerações de ferramentas. Ressalta-se que a tecnologia BIM e a

tecnologia 4D são conceitos separados e tiveram uma progressão diferente de sua concepção.

3.2 Processos de Modelagem 4D e suas diferenças

Há três formas de abordar a integração entre o modelo 3D e o tempo (EASTMAN, *et al.*, 2011; RECK, 2013):

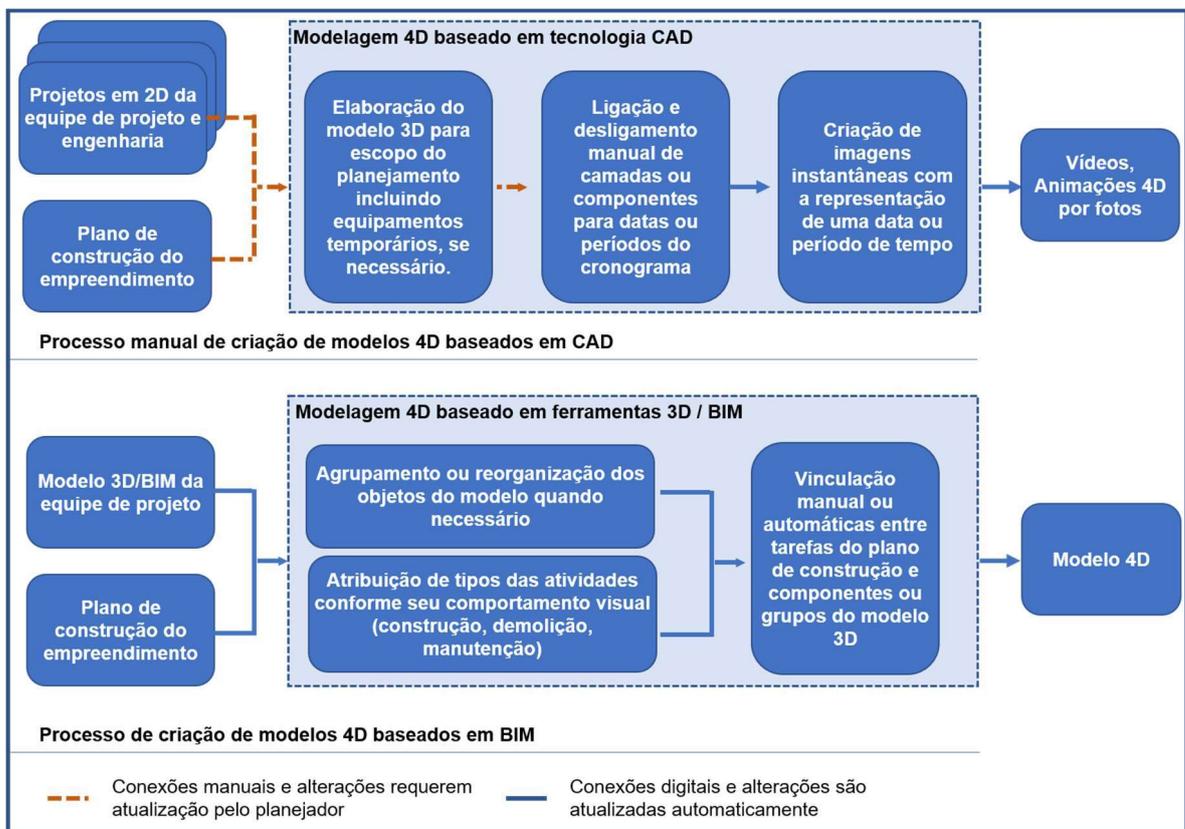
- 1) conexão manual: consiste da vinculação do modelo geométrico 3D manualmente com a programação de construção, usando ferramentas 2D ou 3D;
- 2) geração automática: alguns *softwares* são capazes de interpretar as informações geométricas dos modelos 3D e automaticamente, gerar uma programação do processo de construção, com recursos 4D próprios dentro do *software* BIM ou ferramenta 3D;
- 3) desenvolvimento do modelo 4D a partir da exportação de um modelo 3D/BIM para um *software* 4D e importação de cronograma.

A presente pesquisa adotou a terceira abordagem de modelagem listada, visto os critérios de escolha dos *softwares* utilizados que estão detalhados no item 4.3. Os *softwares* comerciais disponíveis permitem o desenvolvimento dos modelos 4D de formas diferentes, sendo as mais usuais a primeira e a terceira opção (EASTMAN *et al.*, 2011). Na Figura 03 apresenta-se o processo de modelagem 4D dessas duas maneiras distintas mais usuais.

- processo de modelagem 4D baseado em tecnologia CAD: os dados de entrada são projetos em 2D e o plano, os quais são transformadas em um modelo 3D de acordo com as etapas e sequências de execução e, de forma dinâmica, cria-se uma série de capturas de imagens instantâneas a partir dos desenhos 2D apagando e ligando os *layers* do projeto, conforme a duração e as atividades, criando-se as etapas de construção ao longo do tempo (BORTOLINI, 2015; RECK, 2013);
- processo de modelagem 4D baseado em ferramentas 3D / BIM: consiste na utilização de um *software* 4D especializado, no qual o modelo 4D pode ser criado a partir de um modelo 3D ou modelo BIM

3D, em que tanto o modelo do produto como o plano podem ser manipulados para reagrupar os elementos 3D em atividades de execução (BORTOLINI, 2015; EASTMAN *et al.*, 2011). As atividades do plano devem ser classificadas em atividades de construção, demolição ou temporários para posteriormente serem conectadas aos elementos 3D (RECK, 2013).

Figura 03 – Diagramação de processos distintos de modelagem 4D



Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2011)

Quando se utiliza de modelos com tecnologia CAD 4D, os modelos 3D contêm apenas associações de tempo (EASTMAN *et al.*, 2011). O planejamento da construção é conectado ao modelo 3D, permitindo a visualização da sequência construtiva e o cronograma do empreendimento (EASTMAN *et al.*, 2011; GSA, 2009). Ferramentas CAD 4D permitem apenas executar o planejamento visual e comunicar as atividades no contexto de espaço e tempo e os produtos se referem aos vídeos ou simulações virtuais do cronograma. (EASTMAN *et al.*, 2011; GSA, 2009).

Biotto (2013) esclarece que a modelagem 4D associada à tecnologia BIM, refere-se a utilizar ferramentas de análise que incorporam os componentes BIM e informações sobre o método de construção para otimizar o sequenciamento das atividades. Essas ferramentas incorporam o espaço, a utilização dos recursos, informações e produtividade (EASTMAN *et al.*, 2011). *Softwares* baseados em BIM permitem a geração de documentos (por exemplo, desenhos, listas, tabelas e renderizações 3D conforme indicado por Biotto (2013)).

Como o BIM permite o recurso de compartilhamento de conhecimento, pode-se reduzir a necessidade de repetição na obtenção e reformatação de informação, o que acarreta no aumento da velocidade e precisão de informação transmitida, automatização de checagens e análises além do suporte às atividades de operação e manutenção (EASTMAN *et al.*, 2011; GSA, 2009).

Na busca por consolidar o entendimento das diferentes formas sobre como gerar os modelos 4D, torna-se fundamental esclarecer as principais diferenças entre essas tecnologias e o que essas mudanças de metodologia implicam e contribuem para a tecnologia 4D na construção. Os principais fatores de diferenciação de 4D CAD e 4D BIM são os seguintes:

- Informação: Elementos de um modelo BIM, ao contrário de objetos CAD 3D, contêm informações parametrizadas (EASTMAN *et al.*, 2011). Essa condição se traduz em um controle rígido sobre todos os elementos dos modelos 3D, pois as informações estão anexadas aos objetos desde o início e não precisam ser adicionadas manualmente. Caso necessário, parâmetros extras podem ser incluídos no modelo BIM no intuito de facilitar a geração do modelo 4D (EASTMAN *et al.*, 2011; VELASCO, 2013).
- *Layers* versus Elementos: os modelos CAD 3D são formados a partir de *layers* gráficos que representam a geometria do objeto. Como resultado, em um modelo 4D CAD, os *layers* são vinculadas a tarefas, enquanto que em um modelo 4D BIM, as tarefas são vinculadas diretamente aos elementos no modelo. (VELASCO, 2013).
- Geração de modelos 3D: uma das entradas do processo de modelagem 4D é um modelo 3D, no caso do fluxo de trabalho baseado em BIM, o modelo 3D é gerado automaticamente, desta forma uma das etapas é

obtida sem um consumo de tempo significativo. Pelo contrário, em um fluxo de trabalho típico baseado em CAD, o modelo 3D teria que ser criado a partir de desenhos 2D e, conseqüentemente, com perda de tempo para sua produção. Como resultado dessas diferenças, o fluxo de trabalho também varia significativamente de CAD para BIM, conforme buscou-se ilustrado na Figura 03 (EASTMAN *et al.*, 2011; VELASCO, 2013).

- Flexibilidade para replanejamento: no uso do BIM há a flexibilidade na introdução de mudanças de maneira coordenada e automatizada, proporcionando maior velocidade no ato de replanejar. As diferentes plataformas permitem-se a coordenação com opções de sincronização poderosas (VELASCO, 2013). A automação é considerada uma questão problemática do 4D CAD reforçando a necessidade de evolução no processo (FISCHER *et al.*, 1996).
- Opções desenvolvidas de vinculação avançadas: as informações incluídas nos objetos 3D em projetos BIM são recursos importantes quando se trata de vincular a geometria às tarefas. O uso de regras para fazer referência a certos parâmetros contidos nos elementos acelera o árduo processo de ligação manual. Essa etapa pode ser prevista dentro da ferramenta de projeto BIM pela inclusão de parâmetros adicionais que serão utilizados posteriormente em uma ferramenta 4D BIM (VELASCO, 2013).

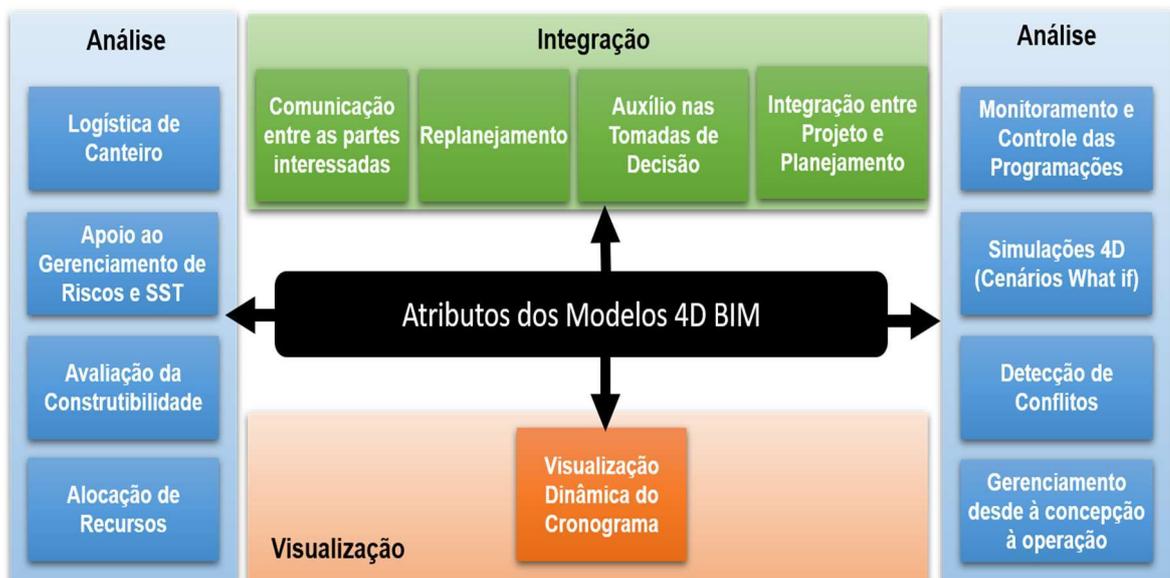
3.3 Atributos Teóricos da Modelagem BIM 4D no apoio ao Gerenciamento da Construção

Os diversos usos para os modelos 4D BIM podem ser divididos em três grupos de funcionalidades (KOO; FISCHER, 1998): **visualização, integração e análise**. Reck (2013) descreve que como ferramenta de visualização, a sequência construtiva pode ser visualmente interpretada entre os agentes do projeto. Dispondo-se da visualização da programação por meio dos objetos permite-se que o modelo trabalhe como ferramenta de integração entre os *stakeholders*, formalizando informações, auxiliando em tomadas de decisões e permitindo a

crítica do projeto. Por fim, como ferramenta de análise, o 4D auxilia a análise de custos, de produtividades, simulações, auxílio no gerenciamento de riscos, alocação de recursos no canteiro (RECK, 2013).

Uma das principais tarefas do modelo 4D que permite apoiar o gerenciamento da construção é identificar e organizar diferentes tipos de dados. Desta forma, o algoritmo do modelo deve ser estruturado de maneira que seja capaz de reunir dados espaciais e temporais para fins de planejamento e gestão do local de construção (CHAU *et al.*, 2003). Na busca por resumir o conteúdo, consolida-se na Figura 04 os atributos teóricos dos modelos 4D BIM que podem ser usados como apoio às funções de gerenciamento de projetos conforme a revisão da literatura apresentada nos capítulos 01 e 02. Em seguida foram detalhadas cada funcionalidade em separado.

Figura 04 – Atributos dos modelos 4D BIM de apoio ao gerenciamento



Fonte: A autora

a) Funcionalidades de visualização

Visualização dinâmica de cronograma:

É um dos usos mais comuns dos modelos 4D e sua adoção permite visualizar as sequências de construção (KOO; FISCHER, 1998; CHAU *et al.*, 2004). A maioria dos *softwares* de gerenciamento de projetos utilizados no setor de AEC (Primavera P6, Microsoft Project, etc.) geram gráficos de barras que não suportam

o processo de visualização. Tais programações forçam os agentes a visualizar e interpretar a sequência de atividades em suas mentes, porém essa interpretação pode variar de acordo com o nível de experiência, conhecimento e perspectiva individual dos participantes (KOO; FISCHER, 1998).

A visualização do tempo estimula a colaboração entre os participantes (BROWN, RILEY, 2001; ROZENFELD *et al.*, 2009), facilita e nivela a compreensão da sequência construtiva não apenas para os planejadores, mas também para o restante da equipe ou das partes interessadas (COLLIER, FISHER, 1995; KOO; FISCHER, 1998) atingindo um alto nível de transparência, que é demonstrado ser vital para o êxito dos projetos (VELASCO, 2013). A pesquisa de Brito (2015) destaca que a redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento é mais importante para aqueles que não dominam a parte técnica, porém precisam tomar decisões administrativas.

b) Funcionalidades de integração:

Modelos 4D podem ser usados para permitir a integração em diferentes situações, todas apoiadas na funcionalidade de visualização. Estes são alguns dos usos alternativos dessas tecnologias:

b.1) Integração e comunicação dos participantes do projeto:

O setor de construção da indústria da construção depende muito do trabalho de subcontratação para empreiteiros especializados. Portanto, a clareza na comunicação entre os participantes envolvidos é fundamental para o sucesso do projeto (FISCHER *et al.*, 2005). As tecnologias 4D também devem ser usadas nas reuniões do projeto como um meio favorável para colaboração pois a comunicação eficaz entre diferentes negócios e disciplinas é vital durante as fases da construção (VELASCO, 2013).

No momento de visualizar os cronogramas tradicionais de construção, não é difícil ter diferentes interpretações por diferentes membros do projeto (FISCHER *et al.*, 2005). A integração do *design* e construção pode ser obtida por meio da formalização e padronização da informação e promovendo, desta forma, a interação entre os participantes do projeto (FISCHER *et al.*, 2005).

Assim, Eastman *et al.* (2011) corrobora que a adoção de um componente visual ao cronograma tende a complementar em possíveis dúvidas tanto quanto conseguir uma melhor comunicação e coordenação entre os participantes. Na avaliação do grau de importância das potencialidades da modelagem BIM 4D, Brito (2015) aponta a integração e comunicação entre todos os envolvidos no projeto em primeiro e segundo lugar, respectivamente e, a aplicabilidade, em terceiro.

b.2) Tomada de decisão:

A rapidez e as transformações constantes que ocorrem no mercado real da construção, exigem decisões assertivas com adequadas reflexões, durante as diferentes fases de projeto, planejamento e construção de um projeto tanto nas instituições privadas quanto nas públicas conforme Brocardo, Scheer (2017). No entanto, a solução nem sempre é clara e, às vezes, as decisões rápidas são tomadas cegamente, sem estar completamente certo da melhor e mais adequada opção (VELASCO, 2013).

Os modelos 4D são um meio para auxiliar a tomada de decisão dos profissionais sempre que eles precisarem de uma imagem clara para descartar ou aprovar diferentes opções, desde planos de ataque, métodos construtivos, distribuição de recursos entre outras análises. Destaca-se que as decisões tomadas antecipadamente têm o maior impacto no projeto (FISCHER *et al.*, 2005).

Alguns artigos científicos endossam o fato de que o 4D é, acima de tudo, uma ferramenta para tomar decisões apropriadas a fim de antecipar as dificuldades (KOO; FISCHER, 1998; CHAU *et al.*, 2004; BROCARD; SCHEER, 2017; BATAGLIN, 2017).

b.3) Replanejamento:

Visto que a modelagem 4D BIM pode ser usada para o planejamento, os modelos 4D também podem ser utilizados para alterar o cronograma sempre que necessário, a fim de redirecionar o projeto conforme os fluxos de evolução do projeto. A flexibilidade para introduzir mudanças é essencial para se ter um fluxo de trabalho suave e não ter que despender muito tempo (CHAU *et al.* 2004).

Os usuários podem ajustar o cronograma de construção dinamicamente e o sistema permite recalcular o cronograma geral de construção com base na EAP–

Estrutura Analítica de Projeto, assim pode-se observar as mudanças subsequentes do processo de simulação de construção em tempo real, para que o cronograma de construção possa ser ajustado e otimizado (LI; ZHANG, 2010). Suponha que determinada atividade de construção na simulação 4D de um projeto de construção seja modificada graficamente na tela, a programação da barra dessa atividade específica será automaticamente ajustada de maneira sincronizada.

Por outro lado, se o cronograma do projeto for alterado, o modelo 4D correspondente será modificado simultaneamente. Além disso, se ocorrer qualquer uma das modificações mencionadas, a estimativa da alocação de recursos também será atualizada para refletir o cenário real (CHAU *et al.* 2003). Caso contrário, se toda vez que uma mudança for feita, uma grande quantidade de tempo for necessária, as tecnologias 4D não teriam muito sentido. Afinal, nem a geometria nem o cronograma são definitivos do começo ao fim. Portanto, a ideia é, que se possa alterar e atualizar o modelo continuamente até o final do projeto.

b.4) Integração entre o projeto e o cronograma:

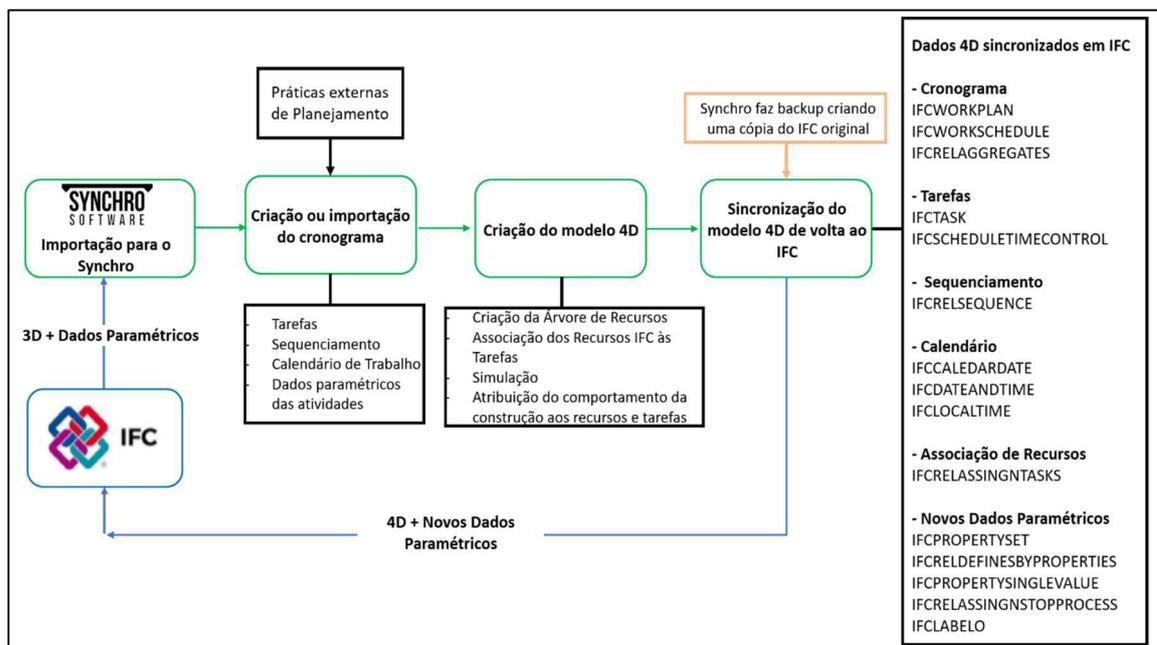
O modelo de informação de construção de edifícios 4D é uma extensão do modelo básico de informações de construção, que tem duas partes: modelo tridimensional de informação geométrica e modelo de propriedade de engenharia. É preciso uma medida orientada a objeto e uma abordagem modular para organizar os dados. Com base no modelo básico de informações de construção, com a estrutura analítica do projeto como o núcleo da associação de dados, associa-se o modelo tridimensional de informações do edifício às informações do projeto dinamicamente e, assim, estabelece-se um modelo de informação de construção 4D (LI; ZHANG, 2010).

Sob esse sistema, a ligação entre o modelo geométrico 3D e o cronograma do projeto é projetada para ser bidirecional. Como tal, o usuário pode modificar o plano de construção por meio do ambiente gráfico 3D ou pelo ambiente convencional de agendamento de gráfico de barras, como desejar fazê-lo (CHAU *et al.*, 2003). A integração entre o *software* de modelagem BIM 4D e o IFC é um fluxo de trabalho exclusivo que permite importar dados de geometria formatados em IFC de *software* de modelagem BIM, incluindo todas as propriedades e atributos, bem como uma sincronização completa dos dados do modelo BIM 4D

incluindo informações de recursos e tarefas geradas dentro do *software*, de volta ao arquivo IFC nativo.

Esse arquivo pode ser lido por qualquer programa que possa utilizar o arquivo .IFC completo para todo o seu conteúdo (VERANO, 2017). Um diagrama com o mapa dos fluxos de dados entre do IFC – *Synchro* – IFC é mostrado na Figura 05 como exemplo do atributo descrito. A pesquisa integra o modelo 4D de informações de construção e o modelo de informações de construção de edifícios de acordo com o padrão IFC, o que resulta em um modelo de construção para construção de edifícios 4D.

Figura 05 – Mapa dos fluxos do processo da integração IFC – *Software Synchro*



Fonte: Adaptado de Verano (2017, p.35)

c) Funcionalidades de Análise:

Modelos 4D podem ser usados para realizar análises de diferentes naturezas, todas relacionadas às atividades de gerenciamento de projetos, sendo capaz de transmitir aos problemas de planejamento de construção a possibilidade de economizar tempo, reduzir o custo total de construção, além de evitar riscos e decidir sobre o mais adequado método de construção, gerando cenários alternativos de construção.

c.1) Monitoramento de tempo:

O controle sobre as tarefas concluídas, bem sobre àquelas em desenvolvimento, é outra função importante das práticas de gerenciamento de projetos. Acompanhar o andamento das atividades planejadas é imperativo para saber se o plano está sendo realizado e, caso não esteja, para adotar medidas adequadas para enfrentar com sucesso a situação (VELASCO, 2013). A comparação entre as condições "planejadas", "realizadas", "em andamento", "atrasadas" é, entre outros, ponto-chave do monitoramento do tempo.

O rastreamento da situação baseada em recursos permite à equipe de monitoramento, controlar o status de diferentes recursos sem precisar dividir o cronograma em atividade separadas para cada um deles. Com o rastreamento dos status baseado em recurso, as informações de status ficam armazenadas no próprio recurso com status, data e código de cores e podem servir como uma ferramenta temporária para ajudar a monitorar a restrição de tempo de maneira mais visível e ampliar a compreensão da dinâmica, além de ser usada também para calcular a porcentagem concluída da tarefa com base nas regras de valor planejado desse escopo específico de trabalho (VERANO, 2017).

c.2) Detecção de conflitos:

Além de transmitir visualmente a lógica (dependências temporais) entre as atividades de um cronograma, o modelo 4D também mostra restrições espaciais que existem tanto no canteiro quanto no edifício e o sequenciamento inadequado das atividades pode originar conflitos de tempo-espço durante a execução de obras de construção (FISCHER *et al.*, 1996; FISCHER *et al.*, 2005).

Velasco (2013) disserta que essa questão chega a ser considerada normal devido à falta de conteúdo visual que transcreva os agendamentos. Fischer *et al.* (2005) detalham que conflitos no espaço de tempo também podem ocorrer quando equipes de trabalho de diferentes especialidades que trabalham em atividades simultâneas têm que compartilhar um espaço de trabalho comum e, portanto, interferir umas nas outras.

A previsão de possíveis conflitos permitiria evitar problemas no canteiro de obras, como tempo de espera e desperdício (VELASCO, 2013). O modelo 4D permite aos usuários visualizar as informações temporais, espaciais e lógicas por intermédio de um único meio na tela. Enquanto no cronograma de CPM, o

planejador pode apenas especular se haverá um conflito de tempo-espço, o modelo 4D manifesta claramente problemas relacionados a restrições de espaço (FISCHER *et al.*, 2005).

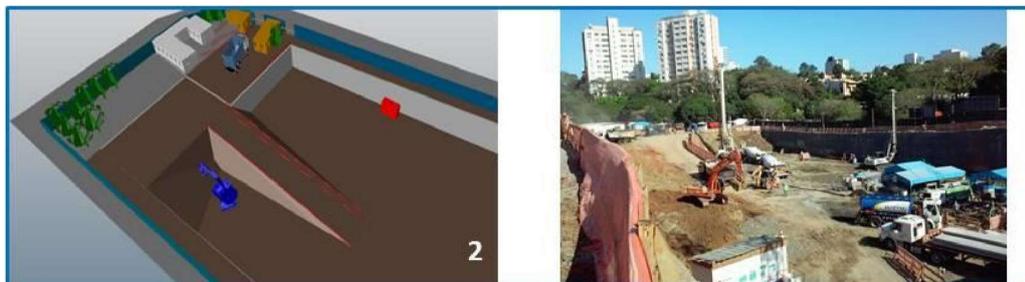
c.3) Logística de canteiro:

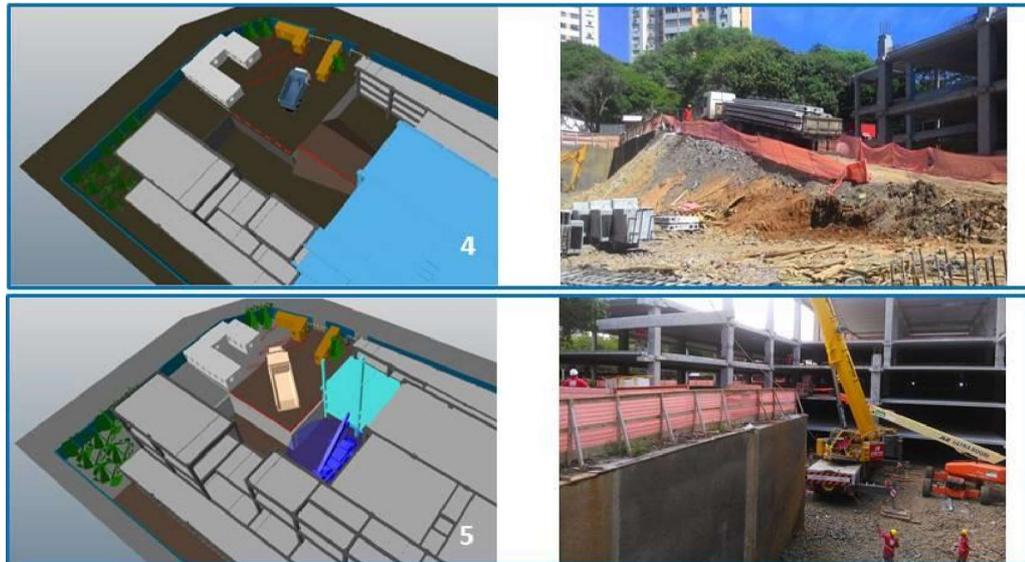
Uma das restrições que os gerentes de projeto enfrentam ao alocar recursos e equipamentos é a disponibilidade do espaço de trabalho no canteiro de obras. Portanto, o uso limitado do espaço de trabalho de maneira econômica e eficiente pode criar uma diferença significativa no tempo e nos custos do projeto (FISCHER *et al.*, 2005).

Os modelos 4D podem fornecer uma imagem dinâmica do espaço necessário dentro do canteiro durante as diversas fases de construção (CHAU *et al.*, 2004). Bataglin (2017), Bortolini (2015), Biotto (2012) mostraram que é possível visualizar e simular a localização de recursos como máquinas, equipamentos e instalações temporárias ou mesmo possíveis espaços com material empilhado da utilização do canteiro de obras, além do próprio comportamento do equipamento móvel que pode ser previsto.

Por exemplo, Bataglin (2017) apresentou a análise do reposicionamento da rampa de acesso, estudo de manobrabilidade de maneira que as peças fossem diretamente içadas da carreta e montadas, não sendo necessário o descarregamento e posterior montagem e retirada da rampa a fim de permitir que equipamentos de montagem que permaneceriam no canteiro fossem retirados por meio de içamento. Na Figura 06 detalha-se o exemplo citado.

Figura 06 – *Layout* do canteiro com elementos temporários





Fonte: Adaptado de Bataglin (2017)

c.4) Alocação de recursos:

Os objetos 3D são importados para a ferramenta 4D apenas como representações / geometria 3D que podem ser visualizados e manipulados na visualização 3D. Para que a geometria 3D seja vinculada ao cronograma do projeto, eles devem ser atribuídos a recursos. Eles podem ser considerados "Recursos 3D", que podem ser basicamente uma cópia do nome do objeto ou vários objetos agrupados como um "recurso 3D". Para conhecer os recursos (trabalho, material e equipamentos) necessários por atividade, os modelos 4D podem integrar funções para facilitar sua alocação ótima (CHAU *et al.*, 2004; WANG *et al.*, 2004).

Verano (2017) esclarece que os usuários podem criar linhas de base do planejamento inicial importado, analisar os projetos visualmente, avançar e voltar no tempo, adicionar ou redistribuir recursos, fazer edições e otimizar os dados dentro da plataforma que contempla o modelo 4D durante todo o ciclo de vida do projeto, em uma interface única digital. Assim podem ser gerados dados de custo e uso dos recursos, bem como gráficos de valor agregado e histogramas de utilização planejados e reais (VERANO, 2017).

Tal funcionalidade merece destaque pois às vezes são negligenciadas. Hanff e Tulke (2007) afirmam que simulação 4D gera seu valor principalmente a partir da visualização e inspeção. Outras dimensões são estreitamente relacionadas, como alocação de recursos materiais ou de trabalho e geralmente não são avaliadas por pacotes de simulação 4D.

c.5) Apoio à gestão de riscos e de saúde e segurança:

Várias aplicações foram desenvolvidas para apoiar o uso de BIM na prática, uma nova tendência é de usar ferramentas digitais relacionadas ao BIM para melhorar a segurança e o gerenciamento de riscos. Wang *et al.* (2014) desenvolveram um ambiente virtual baseado em BIM além de um mecanismo de jogo para abordar várias questões-chave para a criação de gerenciamento de emergências. Zou *et al.* (2015) examinaram e explicaram o potencial do BIM no processo de implementação do gerenciamento de riscos. Liu *et al.* (2015) propuseram um novo método para melhorar o nível de gerenciamento de riscos do transporte ferroviário incorporando a modelagem BIM 4D.

Os resultados dos estudos de caso realizados por Azhar (2017) indicaram que as ferramentas dinâmicas 3D / 4D são mais eficazes no planejamento e gerenciamento de segurança, em comparação com os desenhos estáticos 2D, pois simulam de perto as condições reais do local de trabalho, ou seja os gerentes de projeto podem perceber como as equipes separadas podem se afetar mutuamente e, portanto, inadvertidamente, criar situações perigosas.

A segurança é uma questão em que nenhum esforço deve ser poupado, pois envolve a possibilidade da perda de vidas, que não pode ser quantificada em termos de custo. As medidas de saúde e segurança consistem na integração desses tipos de elementos e atividades no modelo e nas simulações (VELASCO, 2013). As tecnologias de visualização também são muito eficazes em educação e treinamento em segurança de edificações em ambientes formais e informais (AZHAR, 2017).

c.6) Simulações 4D – Cenários *What-if*:

As simulações com alternativas do processo de construção é uma forma visual de avaliar a capacidade de construção e de tentar se aproximar das condições reais no local de construção antes do início efetivo dos trabalhos no local. De acordo com Eastman *et al.* (2011) o modelo de informação de construção e a comparação rápida de cenários melhora de forma substancial o processo de revisão do projeto. As explorações de projeto *what-if* são mais fáceis e viáveis economicamente usando ferramentas BIM (EASTMAN *et al.*, 2011).

Em outras palavras, as simulações 4D poderiam servir como uma espécie de ensaio de construção para reduzir a incerteza e antecipar os riscos do projeto (VELASCO, 2013). Eles são aplicáveis a projetos inteiros ou a um determinado período de tempo. Às vezes, a criação de um vídeo pode ser mais eficaz do que ter imagens para refletir mais claramente o dinamismo de um canteiro de obras. Porém os cenários são avaliações, mas não podem ser considerados como previsões exatas (CHAVES, 2015).

c.7) Avaliação da construtibilidade

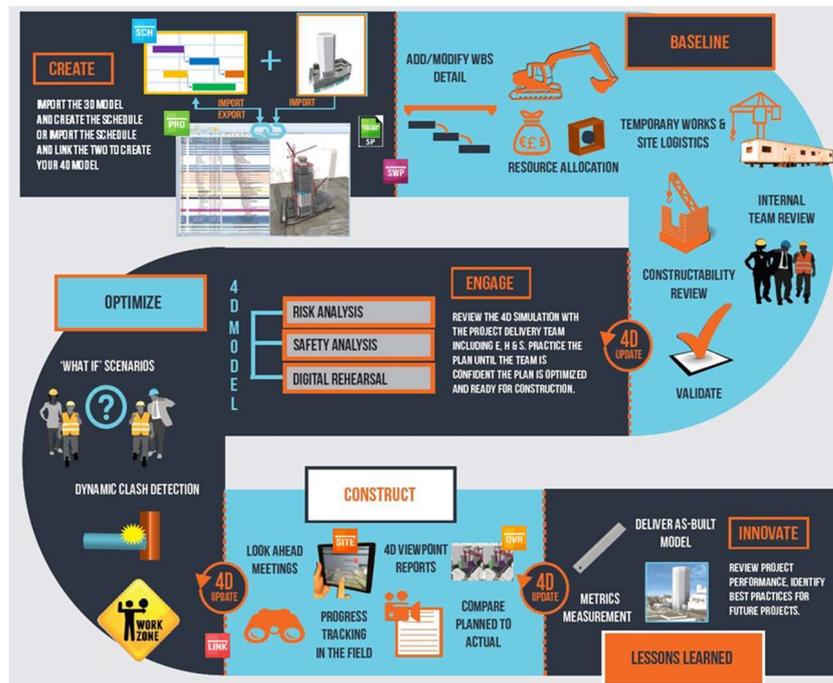
Na medida que as alternativas de *design* avançam e mais detalhes são incluídos ao modelo, torna-se cada vez mais possível realizar análises de construtibilidade. Os modelos 4D são realmente úteis para verificar se o cronograma planejado e a sequência de construção fazem sentido (VELASCO, 2013). Além disso, eles são de bom uso para comparar e selecionar métodos e processos de construção.

Fischer *et al.*, (2005) disserta que por meio da visualização da sequência de construção, o modelo 4D permite que os usuários detectem problemas no cronograma original, analisem conflitos de tempo-espaco, questões de segurança e gerenciamento de espaco de trabalho do canteiro (EASTMAN *et al.*, 2011). Ao realizar revisões de construtibilidade, os gerentes de projeto não podem isolar um problema específico, mas devem considerar todos esses fatores juntos associados aos métodos e processos de construção.

c.8) Gerenciamento desde à concepção à operação

Nos tópicos anteriores foram listados diversos atributos auferidos aos modelos 4D, sendo que seus usos podem variar ao longo de todo o ciclo de vida do projeto e oferecem oportunidades em diferentes fases do projeto, podendo sempre ser apoiado na mesma plataforma digital que podem ser auferidos na Figura 07.

Figura 07 – Modelagem 4D BIM no Ciclo de Vida do Projeto



Fonte: Synchro (2018)

O U. S. General Service Administration - GSA (2009) descreve que há 4 diferentes estágios podem ser distinguidos em relação à possível utilização de modelos 4D para auxiliar projetos de construção:

- Na etapa de pré-projeto: nas fases iniciais de projeto ou desenho, a tecnologia 4D é útil para a análise de possíveis alternativas de construção utilizando-se do cronograma básico de construção e partes muito gerais do edifício, como níveis e espaços, mas ainda não no nível do elemento.
- Desenvolvimento de *design*: à medida que o *design* avança e mais detalhes devem ser incluídos, essa tecnologia é valiosa para realizar análises de construtibilidade.
- Fase de licitação: os modelos 4D podem ser utilizados pelos construtores para comunicar as diferentes fases de construção ao cliente, bem como a forma como o edifício deve ser construído. Portanto, a tecnologia 4D não apenas funcionaria como uma ferramenta de vendas, mas também para obter precisão nas estimativas por meio de uma melhor compreensão da sequência de construção.
- Estágio de construção: durante a fase de construção, um dos desafios para os empreiteiros é coordenar os negócios ou subcontratados no local, a fim

de evitar conflitos de tempo-espço. Esta é outra capacidade dos modelos 4D, juntamente com a ajuda que eles fornecem para o gerenciamento visual do site. Outra utilidade para este estágio o acompanhamento comparativo "construídas versus planejadas" para as funções de monitoramento do projeto.

Esta é também a fase que se pode utilizar da ferramenta em reuniões de antecipação de curto prazo (EASTMAN *et al.*, 2011). Assim, o uso de 4D pode ser estendido para funcionar como uma ferramenta para melhorar a produtividade no campo por meio de uma melhor coordenação e comunicação entre as disciplinas e os participantes do projeto (VELASCO, 2013).

3.4 Requisitos da Modelagem BIM 4D

Os diferentes fornecedores de *softwares* vêm oferecendo cada vez mais novas ferramentas para facilitar a construção e edição do modelo 4D, dispondo cronogramas com diferentes características para customizar e automatizar a produção do modelo 4D. Visto que a dinâmica do processo de planejamento varia de acordo com os *softwares* a serem adotados, há várias questões e orientações que as equipes de projeto devem considerar quando do desenvolvimento do modelo 4D (EASTMAN *et al.*, 2011).

Os principais requisitos das ferramentas 4D BIM para funções de gerenciamento de projetos são descritos para a parte de avaliação do presente estudo.

- **Capacidade de importação:** Capacidade de importar geometrias ou formatos BIM (BAIA, 2015), além dos cronogramas de qualquer complexidade e formato do arquivo (VERANO, 2017). A manutenção das informações previamente contidas nos arquivos base é essencial para a modelagem 4D. Outro aspecto a considerar é se o aplicativo se mostra compatível com o formato de arquivo IFC para interoperabilidade com *softwares* diferentes (VELASCO, 2013).
- **Capacidade de exportação / saída:** Capacidade de exportar os dados em períodos específicos e para documentação de projeto (BAIA, 2015). É pertinente analisar a organização da ferramenta para facilitar o

compartilhamento de arquivos entre os membros do projeto, o tamanho do arquivo de saída permite ou não, uma boa navegabilidade (VELASCO, 2013). Além disso, analisar a capacidade do aplicativo em gerar instantâneos estáticos, arquivos de vídeo para visualizar simulações dinâmicas, listas de atividades (BATAGLIN, 2017)

- **Junção e atualização para o modelo 3D BIM:** é realmente interessante que o aplicativo seja capaz de associar diferentes modelos 3D para a modelagem 4D (BAIA, 2015). De fato, é comum que diferentes disciplinas trabalhem independentemente (de maneira coordenada) em seu modelo para mesclá-las mais tarde em uma única (EASTMAN *et al.*, 2011). Ter possibilidades de sincronização com os arquivos originais é outro requisito (VELASCO, 2013).
- **Reorganização de dados:** A ferramenta 4D permite que os profissionais da AEC possam reorganizar ou criar grupos personalizados dos objetos geométricos do modelo (BARBOSA, 2014). Trabalhar em seu formato bruto com uma grande quantidade de elementos com os quais os modelos BIM contemplam tende a dificultar o processo de modelagem 4D (VELASCO, 2013). A possibilidade de reorganizar todos os itens de antemão pode simplificar bastante o procedimento de seleção e vinculação (EASTMAN *et al.*, 2011).
- **Elementos e equipamentos temporários:** A possibilidade de incluir componentes temporários no modelo, como por exemplo, guias, áreas de armazenamento, galpões, detalhes de escavação, caminhões, guindastes é um ponto forte dessas ferramentas (BAIA, 2015; BARBOSA, 2014; EASTMAN *et al.*, 2011). É interessante visualizá-los nas simulações para formar uma ideia de como o local da construção estaria em um dado momento específico. Fato útil também para prever facilidade de navegação dentro do canteiro de obras (VELASCO, 2013) e ajudar aos gestores do projeto a avaliar a segurança e questões de construtibilidade em relação ao espaço para os recursos (EASTMAN *et al.*, 2011)
- **Animação:** capacidade de mover objetos em determinado período (EASTMAN *et al.*, 2011), pois alguns elementos ao serem apresentados

de uma forma animada durante a execução de uma simulação ajuda a representar melhor o dinamismo do canteiro de obras (VELASCO, 2013). Esse é o caso da movimentação de máquinas, como caminhões, guindastes e similares.

- **Ligação automática:** é uma função diferencial na busca em acelerar o processo de vincular a geometria às atividades. Isto pode ser alcançado por meio da aplicação de regras de diferentes naturezas. Velasco (2013) acredita que padronização desse processo seria realmente útil para uma vinculação eficaz em seus projetos futuros, Eastman *et al.* (2011) reitera que se trata de uma função útil em casos que se adotam padronização nos nomes de identificação.
- **Análise:** a ferramenta dá suporte para análise de conflitos de espaço-tempo como geometrias em mesmo espaço e atividades que estejam acontecendo ao mesmo tempo (BAIA, 2015; EASTMAN *et al.*, 2011);

Os requisitos analisados também foram mencionados no "Manual BIM", porém há outros fatores a serem considerados ao selecionar uma ferramenta 4D BIM que podem influenciar no seu desempenho e na dinâmica do trabalho. Por exemplo:

- **Tamanho do arquivo:** o tamanho resultante do arquivo de saída determina os requisitos do computador para processamento de dados, além da dinâmica de compartilhamento de dado (VELASCO, 2013). Chau *et al.* (2004) destacam que este fato é realmente importante a considerar, em especial, em projetos de larga escala que envolvem abundantes arquivos de trabalho.
- **Ambiente de trabalho:** a preparação do ambiente de trabalho para o uso do BIM também é estratégica para a implementação e vem, até mesmo, anterior a qualquer um dos requisitos definidos. Providenciar computadores com capacidade de processamento, em que possam ser instalados sistemas computacionais necessários e treinamento de pessoal também são requisitos fundamentais (BATAGLIN, 2017).
- **Troca de dados bidirecional:** Velasco (2013) enumera este outro ponto como não menos importante. Nos casos em que há vários *softwares* sendo utilizados é relevante identificar se a ferramenta 4D é

capaz de trocar dados de maneira bidirecional, ou seja, se os dados podem ser introduzidos e modificados em qualquer uma das plataformas. Por exemplo, trabalhar com arquivos em formato .ifc.

- **Decomposição e agregação:** Ao simular o processo de construção, um objeto modelado em 3D como uma peça inteira pode ser necessário dividi-lo em pequenas seções (BARBOSA, 2014). Por exemplo, uma laje de grandes dimensões deverá ser dividida em seções menores para que seja representada a concretagem em etapas. Esta é uma questão comum que os profissionais encontram no desenvolvimento do 4D. A maioria dos *softwares* especializados para o 4D não oferecem esta funcionalidade, sendo necessário recorrer à ferramenta 3D na qual elaborou-se o modelo (EASTMAN *et al.*, 2011).
- **Propriedades de agendamento (*Schedule Properties*):** O modelo 4D utiliza muitas vezes o início e fim mais cedo para simular o processo de construção (BARBOSA, 2014). No entanto, podem ser exploradas outras datas para ver o efeito na simulação (EASTMAN *et al.*, 2011), para que uma mudança de tempo, por exemplo, venha a refletir no restante de outros componentes (BAIA, 2015).
- **Nível de detalhe:** O nível de detalhe do modelo depende do modelo BIM importado e do cronograma (VELASCO, 2013). Por um lado, ter um nível homogêneo de detalhes para todas as atividades em um modelo é muito importante para entender o processo de construção (FISCHER *et al.*, 2005). Ou seja, o cronograma precisa contar com uma *Work Breakdown Structure* - WBS consistente, na qual todas as atividades são divididas no mesmo nível. Por outro lado, os elementos dos modelos BIM devem comportar-se de acordo com o cronograma e nas diferentes etapas do projeto (desde a fase conceitual à construção) e podem ser usados para representar diferentes aspectos.

O nível de detalhe é diretamente afetado pelo tamanho do projeto. Assim, o tempo previsto para a sua construção e pelos detalhes críticos que devem ser gerenciados (BARBOSA, 2014). É por isso que o LOD descrito no item 2.3 também pode variar, aumentando à medida que o projeto avança. Os modelos 4D devem igualmente suportar diferentes níveis de detalhe, desde que haja harmonia entre o

cronograma e o modelo BIM (VELASCO, 2013). Normalmente, para elaboração de proposta as equipes de projeto iniciam o modelo com paredes tipo “cascas” e ao longo das fases do projeto o modelo é alvo de maior detalhamento (BARBOSA, 2014).

- **Perfil de aparência:** dependendo do tipo de atividade (demolição, instalação, manutenção) diferentes cores e aparências (por exemplo: sentido de execução) podem ser utilizadas para representar as atividades no local (VERANO, 2017).

3.5 Ferramentas BIM 4D

O mercado de desenvolvimento de *softwares* BIM 4D experimentou um crescimento gradual e diversos *softwares* foram desenvolvidos. O Quadro 03 exibe alguns tipos de diferentes aplicativos comerciais disponíveis e em seguida, tomando como referência a pesquisa de Elgohari (2015) faz-se um breve comparativo entre eles.

Quadro 03 – Principais ferramentas BIM e últimas versões disponíveis

EMPRESA	SOFTWARES BIM 4D	LOGO
Autodesk	Navisworks <i>Última versão: Navisworks 2017</i>	
Bentley	Synchro Professional <i>Última versão: Synchro Professional 2018 6.0.1.2 version</i>	
Vico Software	Vico Office for Time <i>Última versão: R6.7 / WinEst 15.7 (Outubro/2018)</i>	
Bentley	Bentley Navigator <i>Última versão: Bentley Navigator V8i</i>	
RIB Software SE	Visual Simulation <i>Última versão: iTWO 4.0</i>	

Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2011)

Elgohari (2015) disserta que a modelagem 4D BIM é a próxima geração de gerenciamento de projetos, incluindo planejamento de projetos, programação e

análise de dados. O 4D literalmente também adiciona visão à equipe de construção, porém sua pesquisa levanta a questão sobre “Qual *software* 4D BIM a ser adotado?”. Seu questionamento é pertinente visto a variedade de atributos e requisitos conforme indicados nos itens 3.3 e 3.4, e a resposta é particularmente difícil, especialmente para as empresas de AEC que possuem pouco tempo de experiência na tecnologia BIM. Porém, a partir de revisões de peritos em BIM realizou-se uma comparação entre os *softwares* de simulação 4D mais comuns no mercado: Navisworks - Synchro - Bentley Navigator - ITwo - Controle Vico. A síntese obtida pode ser encontrada na Tabela 01.

Tabela 01 – Comparativo de alguns atributos dos *softwares* BIM 4D

Atributo	Notas até 5				
	Navisworks	Synchro PRO Professional	Vico	Navigator	ITwo
Facilidade de aprendizagem	2,5	3,5	2	2,5	3
Extensão dos recursos 4D (programação do planejamento, projeto, análise, detecção de conflitos e cenários what if)	3,5	4,5	3	2,5	2,5
Tempo de Animação	2,5	3,5	2,5	2,5	2,5
Qualidade da Animação	4	4	3	2,5	2,5
Importação e Exportação (formato, tamanho, imagens e vídeos)	4	4	3,5	4	4
Interação com P6 e Ligase Automática	3	4,5	2,5	2,5	3
Regras de Detecção de Conflitos	4	2	2	4	4
Usuários Múltiplos	1	5	4	1	1
Capacidade 5D	3	3	4	1	5

Fonte: Adaptado de Elgohari (2015)

Para a presente pesquisa optou-se pelo uso do *software* Synchro, devido à facilidade de aprendizagem em conformidade com os atributos apresentados e também devido ao *software* apresentar licença educacional.

3.6 Desafios da Modelagem BIM 4D

Uma das principais limitações dos modelos 3D é sua incapacidade de mostrar o status exato do progresso da construção (WANG *et al.*, 2004). No entanto, para os planejadores é exigido uma visão mais dinâmica da sequência construtiva para se visualizar estágios intermediários (CHAU *et al.*, 2003). Embora a experiência seja um ponto forte para o planejamento, é necessário reduzir os riscos, deixando menos espaço para improvisação e, conseqüentemente, possíveis interpretações inadequadas. No entanto, é necessário entender os desafios a serem transpostos pela tecnologia da modelagem BIM 4D.

A tecnologia 4D veio à tona para abordar o planejamento num contexto mais dinâmico pela introdução do variável tempo: 3D + tempo saindo dos modelos estáticos. Porém os profissionais envolvidos no desenvolvimento de produtos e processos para a arquitetura, engenharia e construção precisam raciocinar sobre inúmeras outras variáveis relacionadas a tempo e espaço (BORTOLINI, 2015).

Bortolini (2015) também destaca que há dificuldades no desenvolvimento dos modelos por não abordarem detalhes do canteiro de obras tais como simulações de operações e análise de quantidades de materiais. Além de que, os modelos 4D não refletem explicitamente os valores assumidos pelas variáveis temporais tais como indecisão humana e tolerâncias físicas.

Barbosa (2014) elucida que o BIM 4D não dá suporte às atividades que ocorrem fora do ambiente BIM, tais como licenças, trabalhos externos como as de pré-fabricação, etc. Reforça que há atividades críticas que não podem ser representadas virtualmente. Grande parte das barreiras que dificultam a aplicação do BIM são criados porque as pessoas mantêm processos antigos com uso de tecnologias novas (REKOLA; KOJIMA; MAKELAINEN, 2010).

A visualização de um planejamento em um modelo tridimensional é realizada de forma contínua, em estilo firme e, não permite visualizar todo o planejamento em uma única janela. Exige-se profissionais qualificados para a elaboração de modelos 4D, além de esforço pela equipe envolvida (BARBOSA, 2014).

A pesquisa de Biotto (2012) enumera diversos pontos de aperfeiçoamento da tecnologia, tais como:

- o modelo 3D precisa ser produzido conforme as necessidades das etapas e equipes subsequentes;
- demanda-se muitas horas-homem para o desenvolvimento de bibliotecas;
- requer-se infraestrutura para tráfego de dados e estabilidade da rede;
- interação de diversos *softwares*;
- capacitação das equipes de produção para entendimento da nova tecnologia;
- ajustes nas curvas de balanço, para permitir a visualização da produção de novos planos de ataque (não é automatizado), associada à um novo custo gerado.

3.7 Comparação entre os Atributos obtidos com Planejamento Tradicional e o Planejamento usando Ferramentas BIM

Levando em conta os atributos estudados da modelagem BIM 4D como ferramentas de visualização, de integração e de análise é possível comparar com as técnicas convencionais de planejamento tomando como referência o estudo de Baia (2015) adaptado de Fischer *et al.* (2005). Esse comparativo encontra-se no Quadro 04.

Quadro 04 – Comparativo entre as técnicas tradicionais e ferramentas BIM de planejamento

ATRIBUTOS		CRONOGRAMA EM TÉCNICAS TRADICIONAIS DE PLANEJAMENTO	CRONOGRAMA EM FERRAMENTAS BIM 4D
Visualização	Visualização Dinâmica do Cronograma	Os usuários tem a visualização da sequência da construção mentalmente	Facilita a interpretação; Visualização animada baseada no cronograma.
Integração	Integração e comunicação dos participantes do projeto	Não promove a interação	Promove a interação
	Tomada de decisão	Não fornece suporte	Promove as viabilidades no projeto (design)
	Re-planejamento	Difícil de detectar somente com cronograma	Mostra claramente os impactos
	Integração entre o projeto e o cronograma	Baseado num processo de produção fragmentada	Promove a integração; facilita o compartilhamento de informações

Fonte: Adaptado de Baia (2015)

Quadro 05 – Comparativo entre as técnicas tradicionais e ferramentas BIM de planejamento (continuação)

Análise	Monitoramento de tempo	Os usuários tem a visualização do andamento da construção mentalmente	Facilita a interpretação; Visualização animada do avanço baseada no cronograma.
	Deteção de conflitos espaço-tempo	Difícil de detectar somente com cronograma.	Identifica os potenciais conflitos.
	Logística de canteiro	Não fornece suporte	Facilita o estudo
	Alocação de recursos	Não fornece suporte	Facilita a alocação
	Apoio à gestão de riscos e de saúde e segurança	Não fornece suporte	Facilita a deteção
	Simulações 4D – Cenários What-if	Não fornece suporte	Permite a geração de cenários alternativos
	Avaliação da construtibilidade	Não fornece suporte	Facilita o estudo
	Gerenciamento desde à concepção à operação	Baseado num processo de produção fragmentada	Base única de dados que facilita a gestão continuada

Fonte: Adaptado de Baia (2015)

4 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é descrito o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento deste trabalho, incluindo a estratégia de pesquisa adotada. Em seguida é exposto o delineamento do método de pesquisa desenvolvido e a descrição das atividades de acordo com suas respectivas etapas e limitações. E por último, apresenta-se o *constructo* esperado para a avaliação do método escolhido e as fontes de evidências requeridas.

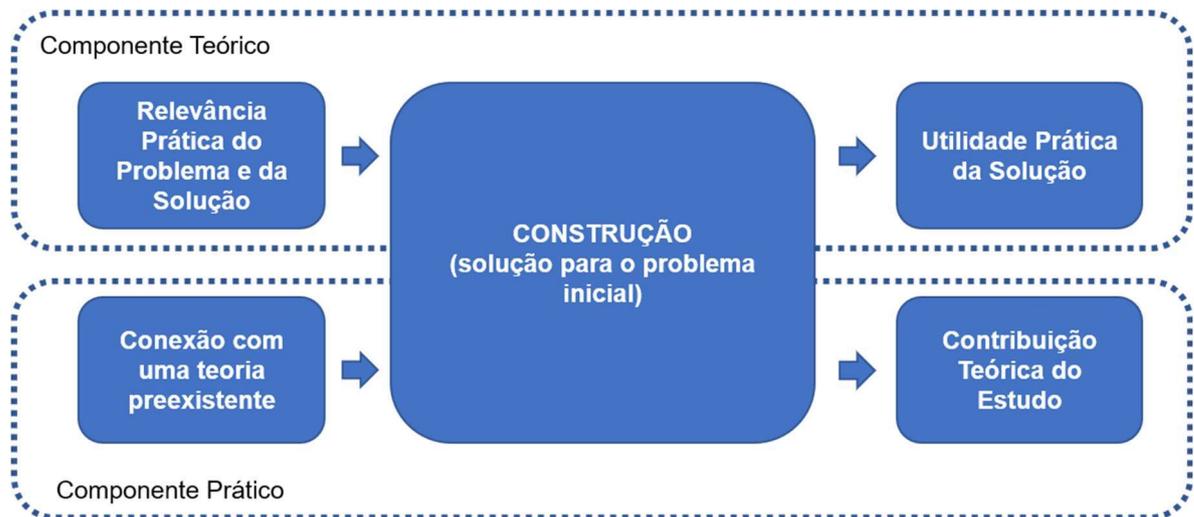
4.1 Estratégia de Pesquisa

De acordo com Van Aken (2004), há três categorias diferentes de pesquisas científicas: (a) a ciência formal, cujo objetivo é construir sistemas de proposições para testar sua consistência lógica interna; (b) a ciência explicativa, cuja missão é descrever, explicar e prever fenômenos observáveis; e (c) a pesquisa construtiva (*constructive research*), também denominado de ciências do *design* (*design science research*), que busca desenvolver conhecimento para a concepção e realização de artefatos para resolver problemas práticos.

Como este trabalho trata de uma pesquisa sobre gerenciamento da construção auxiliado por tecnologia da informação e construção (TIC), mais especificamente, da proposição de um conjunto de requisitos para o desenvolvimento da modelagem BIM 4D na busca de auxiliar diferentes funções de gerenciamento da construção, ou seja, na proposição de um artefato para a solução de uma classe de problemas do mundo real, trata-se então de uma pesquisa construtiva.

Segundo Lukka (2003), a *design science research* (DSR) deve produzir artefatos ou *constructos* inovadores, destinados a solucionar problemas do mundo real e permitir uma contribuição teórica da disciplina na qual é aplicada na busca do avanço do conhecimento. Desta forma, essa estratégia de pesquisa envolve dois componentes básicos, a prática e a teoria, sua representação pode ser melhor visualizada na Figura 08.

Figura 08 – Componentes da abordagem da pesquisa *design science research*



Fonte: Adaptado de Lukka (2003).

A pesquisa construtiva, do ponto de vista do desenvolvimento do conhecimento geral, permite reduzir a distância entre a prática e a pesquisa, além da obtenção de uma série de outros benefícios práticos (LUKKA, 2003) o que pode vir a ser um incentivo adicional para empresas e outras organizações a colaborarem com os pesquisadores do meio acadêmico (HOLMSTROM *et al.*, 2009). A DSR tem sido adotada de forma crescente em diversas áreas de conhecimento, tais como administração, tecnologia, sistemas de informação, medicina, engenharias, nos quais não é suficiente descrever e entender o problema, sendo necessário desenvolver e testar soluções (VAN AKEN, 2004).

O pesquisador, primeiramente, desenvolve o fenômeno artificial, também chamado de artefato, para em fase posterior obter as informações necessárias para avaliá-lo conforme indicado por Holmstrom *et al.* (2009), ou seja, está interessado em desenvolver os meios para um fim, um artefato para solucionar uma classe de problemas e não apenas criar conhecimentos de caráter explicativo.

Caixeta (2015) fez uma comparação entre as etapas a serem desenvolvidas em uma pesquisa do tipo DSR, conforme as propostas de diferentes autores (Quadro 05) com as sequências indicadas nas colunas com leitura de cima para baixo. Nas linhas que há mais de uma atividade é devido à similaridade entre elas. Percebe-se que March e Smith (1995) propõe apenas duas etapas, construir o artefato e avaliar o seu desempenho em uso, enquanto outros autores (Kasanen

et al., 1993; Lukka, 2003; e Vaishnavi e Kuechler, 2007) indicam uma sequência mais detalhada de etapas.

Quadro 06 – Comparativo da literatura das atividades pela DSR

Kasanen <i>et. al</i> (1993)	Mark; Smith (1995)	Lukka (2003)	Hevner <i>et al.</i> (2004)	Vaishnavi; Kuechler (2007)
1. Encontrar um problema relevante na prática e com potencial de pesquisa		1. Encontrar um problema relevante na prática e sua potencial contribuição teórica	1. Identificar problemas importantes e relevantes	1. Consciência do problema
		2. Examinar a probabilidade de colaboração na pesquisa de longa data junto às organizações alvo		
2. Obter um compreensão geral do tema		3. Obter uma compreensão prática e teórica aprofundada sobre o tópico		
3. Construir uma solução inovadora	1. Criar algo que atenda aos propósitos humanos	4. Propor e desenvolver uma construção solução inovadora	2. Desenvolvimento do artefato	2. Sugestão de um projeto experimental
				3. Maior desenvolvimento e implantação do projeto preliminar
4. Demonstrar que a solução funciona		5. Implementar a solução e testar na prática como funciona 6. Ponderar o escopo de aplicabilidade da solução		
	2. Avaliar o seu desempenho das coisas durante o uso			
5. Apresentar as conexões teóricas da solução e a sua contribuição para a pesquisa		7. Identificar e analisar a contribuição teórica	3. Avaliação	4. Avaliação do projeto com os critérios previamente definidos
6. Examinar o escopo de aplicação da solução				
				5. Conclusão
			4. Comunicação	

Fonte: Adaptado de Caixeta (2015)

Segundo Lukka (2003), na DSR normalmente há uma estreita colaboração entre o pesquisador e os agentes das instituições envolvidas. Para Kasanen *et al.*, (1993), a fase de inovação é o cerne da DSR, pois o pesquisador deve elaborar uma solução para o problema em questão, os mesmos autores ainda afirmam que

as soluções para o campo de gestão, muitas vezes, não só resolvem o problema como mostram outros novos que retroalimentam a pesquisa em um processo cíclico.

Após seguir as etapas indicadas referenciadas na Tabela 06 conforme os respectivos autores, na Quadro 06 resume-se as possibilidades de resultados a serem alcançados com o DSR acrescidos da contribuição de Voodjik (2009) indicado por Caixeta (2015).

Quadro 07 – Possíveis resultados pelo método DSR

Mark e Smith (1995)	Van Aken (2004)	Vaishnavi e Kuechler (2007)	Voodjik (2009)
Constructos ou Conceitos; Modelos; Métodos; Instanciações	Quatro artefatos de March e Smith; Teorias melhores	Regras tecnológicas	Leis de tecnologia; Regras funcionais; Entendimento sóciotecnológico

Fonte: Adaptado de Caixeta (2015)

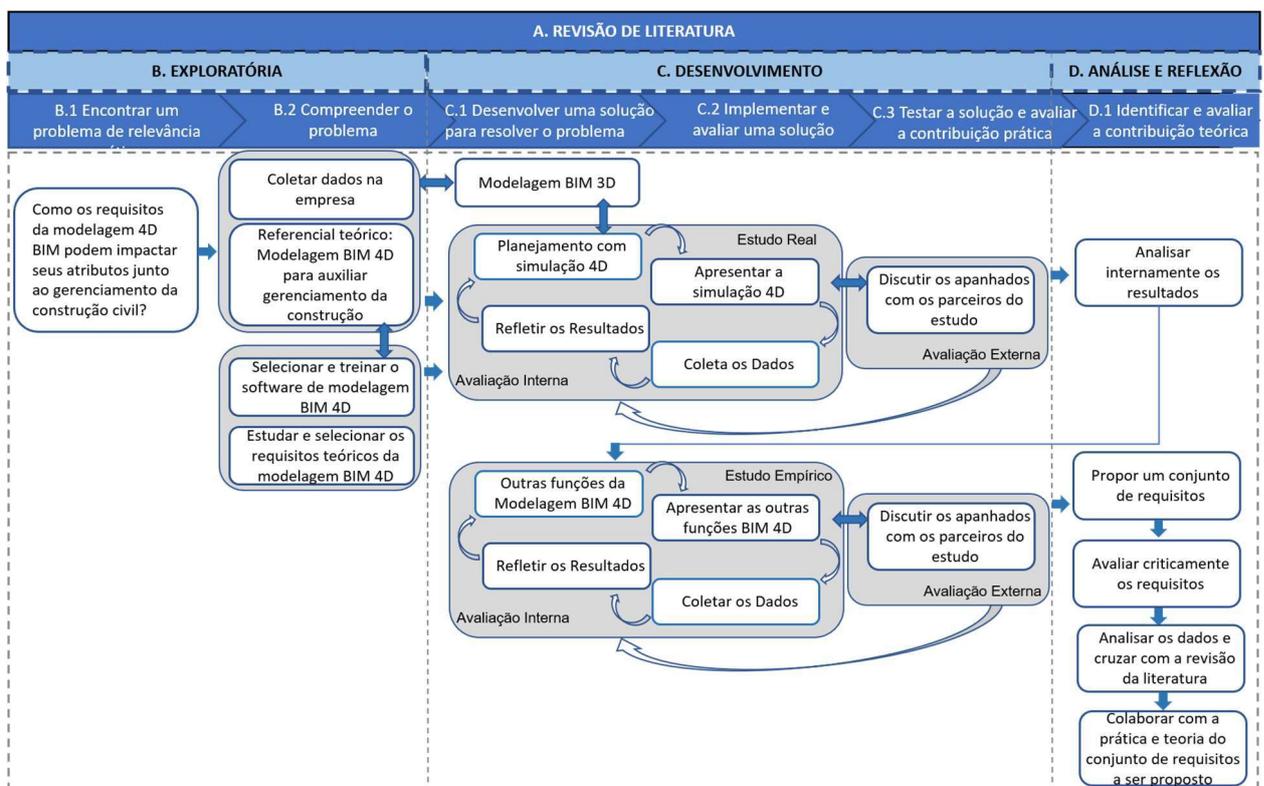
A abordagem de pesquisa escolhida, *Design Science Research*, possui características intrínsecas que se alinham aos objetivos deste estudo, pois buscou-se uma abordagem focada não apenas no aprendizado do conteúdo, mas também na proposta de solucionar um problema real encontrado, testar as soluções sugeridas e favorecer com a teoria existente na área, justificando assim a adoção da DSR. Ademais o conjunto de requisitos a ser proposto estabelece uma sequência de passos a serem incorporados no processo de desenvolvimento das diferentes funções da modelagem BIM 4D e alcançou-se o constructo a partir de um processo iterativo, que envolveu alguns ciclos de aprendizado e nos quais a aprimorou-se a solução.

4.2 Delineamento da Pesquisa

Este trabalho não seguiu rigorosamente as etapas indicadas por algum dos autores estudados, mas sim, uma combinação das fases sugeridas pelos mesmos, além de tomar como referência o delineamento de pesquisas na mesma área de Bortolini (2015); Chaves (2015); Reck (2013), iniciando-se sempre a partir de um problema real. Desenvolveu-se a pesquisa em quatro grandes fases (a) revisão

bibliográfica; (b) fase exploratória; (c) fase de desenvolvimento; e (d) fase de análise e reflexão. O delineamento da pesquisa e respectiva subdivisão das fases em atividades é apresentado na Figura 09 na seguinte estrutura: (b.1) encontrar um problema com relevância prática e potencial teórico, (b.2) compreender o problema, (c.1) desenvolver uma solução para resolver o problema; (c.2) implementar e avaliar uma solução; (c.3) testar a solução e avaliar a contribuição prática; e (d.1) identificar e avaliar a contribuição teórica.

Figura 09 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Adaptado de Bortolini (2015).

Realizou-se a revisão de literatura (fase A) ao longo da pesquisa, dando suporte ao desenvolvimento, efetivação e auxílio às soluções propostas no desenrolar da pesquisa. Inicialmente, a revisão compreendeu aspectos de simulação 4D, problemas no gerenciamento da construção civil atual. Em um segundo momento, ampliou-se a revisão de literatura de forma a se buscar um entendimento sobre os conceitos e tipos de *softwares*, requisitos técnicos teóricos da modelagem BIM 4D, assim como os fluxos de processos iterativos integrados requeridos ao longo do seu desenvolvimento e da modelagem BIM 3D.

Na revisão da literatura buscou-se um embasamento teórico para uma problemática real. Para a busca e pesquisa de projetos recentes sobre as aplicações e requisitos da modelagem BIM 4D, foram aplicados alguns passos de uma revisão sistemática da literatura, a qual abrangeu definir uma questão de pesquisa para nortear a triagem de artigos e posteriormente a escolha dos artigos mais relevantes relacionados a este trabalho tomando as palavras-chave como referência. A fase da revisão a respeito dos usos da modelagem BIM 4D para auxiliar o gerenciamento da construção apoiou diretamente no processo de compreensão do problema inicial estudado nesta pesquisa e na definição do problema de pesquisa.

A fase exploratória (B) compreendeu a busca de um hiato de conhecimento por meio da revisão bibliográfica inicial associada à busca de um problema real no estágio atual de amadurecimento em relação ao BIM na empresa estudada aliada às experiências práticas da presente autora na área de planejamento de obras. Encontrou-se, então, um problema com relevância prática (b.1) que serviu como pontapé inicial para a definição do problema de pesquisa da dissertação. As atividades de pesquisa envolveram coleta de documentos e dados da empresa parceira do estudo, entrevistas e observações participantes em reuniões de projeto. Esta fase (b.2) também compreendeu a análise dos *softwares* de modelagem BIM 4D e simulação BIM 4D, bem como do treinamento da pesquisadora nos *softwares* selecionados.

Na fase de desenvolvimento (C), há dois momentos de aprofundamento da análise do problema identificado. Em um primeiro momento (c.1) analisou-se os requisitos da modelagem BIM 4D para a realização da simulação com dados reais da empresa estudada. Para permitir a análise completa dos impactos dos requisitos em uma maior amplitude de atributos há um segundo momento com a análise de um estudo empírico para permitir o levantamento e análise dos demais requisitos que podem impactar a modelagem BIM 4D. Em ambas fases, há a análise externa por parte dos representantes da empresa parceira do estudo (c.2).

Na última etapa de análise e reflexão (D), também perpassa a divisão dos momentos da fase do desenvolvimento, pois requereu uma primeira análise da simulação dos dados reais com o primeiro levantamento e discussão dos impactos dos requisitos nos atributos da modelagem junto ao gerenciamento da construção

e concluiu-se quanto os demais requisitos foram mapeados e condensados em um conjunto de requisitos avaliados criticamente.

4.3 Fase Exploratória

Esta etapa compreendeu as seguintes atividades: seleção de *softwares* BIM e de modelagem 4D BIM que foram adotados neste trabalho; o treinamento com modelagem e principalmente, com simulação 4D; e a caracterização da empresa parceira da pesquisa. Estas etapas aconteceram de forma paralela.

4.3.1 Seleção dos softwares de modelagem

Visto que o produto de análise se trata de uma edificação concluída, os projetos existentes foram desenvolvidos em 2D pela empresa parceira participante da pesquisa. Desta forma havia a necessidade de escolher um *software* BIM para a modelagem do produto. Além claro é de que essa seleção facilitasse a comunicação com o *software* de modelagem 4D BIM.

Para a modelagem em BIM foram testadas as licenças educacionais dos *softwares* Revit Architecture (Autodesk) e Archicad (Grafisoft). Bortolini (2015) *apud* Reck (2013) descrevem que em 2013 realizou-se um *workshop* com especialistas para discutir as funcionalidades destes *softwares*, bem como seus aspectos negativos e positivos. No Quadro 07 mostra-se alguns critérios discutidos à respeito de ambas plataformas que apoiaram a seleção do *software* adotado nesta pesquisa.

A seleção do Archicad deveu-se ao fato dele ser uma plataforma intuitiva e graficamente compreensível, de fácil interface e com um fluxo de trabalho claro e simples, além da facilidade em exportar em IFC como destacado por Reck (2013) e Bortolini (2015).

A adoção do *software* SYNCHRO PRO® para modelagem e simulação 4D efetivou-se com base em três fatores: disponibilidade em conseguir licenças educacionais gratuitas, pesquisa bibliográfica da autora conforme indicado no item 3.5 em que Elgohari (2015) compara diferentes atributos dos *softwares* de modelagem BIM 4D e da experiência da sua aplicação efetivada em estudos

referenciais anteriores (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BORTOLINI, 2015; CHAVES, 2015).

Quadro 08 – Critérios para escolha de *softwares* de modelagem BIM

CRITÉRIOS	REVIT	ARCHICAD
Necessidade inicial de formatação do modelo BIM	pouca formatação	necessidade de definição de penas e padrões
Quantitativos	necessidade de edição de planilhas	necessidade de edição de planilhas
Importação / Exportação em IFC	dificuldade de exportar em IFC	facilidade de exportar em IFC
Facilidade de Uso	mediana	fácil
Inserção e localização de informações no IFC	dificuldade de inserir informação no IFC; arquivo aumenta conforme detalhamento	facilidade de gerir informações no IFC modelo não fica tão grande

Fonte: Adaptado de Reck (2013)

Biotto (2012) elenca a vantagem do *software Synchro PRO* na agilidade de atualização dos arquivos e na geração de animações e vídeos 4D. Reck (2013), caracteriza que o *Synchro PRO* permite a sincronização de vários arquivos 3D e a inserção de elementos de recursos por meio do modelo de arquivo IFC. Bortolini (2015) realça que, além da rapidez em vincular os elementos 3D à programação das atividades, dando a possibilidade de ampliar o nível de detalhe do elemento 3D, adicionando outros elementos, ou se necessário, dividir os elementos modelados em partes menores. Chaves (2015) explora bastante o uso dos cenários tipo what-if apoiado pela modelagem 4D no *Synchro PRO*.

4.3.2 Treinamento dos softwares de modelagem

Após a obtenção dos pacotes computacionais acadêmicos selecionados, realizou-se treinamento para ambos. Estes treinamentos foram desenvolvidos por meio de tutoriais digitais e vídeos e aulas *online* obtidos na página da *internet* das respectivas plataformas. A partir, também, de leitura de manuais, ocorreu a maior familiarização e ambientação com os *softwares* pelo teste prático com modelos disponibilizados previamente para estudo e posterior modelagem do produto de estudo.

4.3.3 Caracterização da Empresa

Fundada em 1980, a empresa X atua há 39 anos em Minas Gerais e São Paulo e faz parte de um grupo empresarial que desempenha atividades na área de engenharia, transportes e hotelaria, com negócios em Minas Gerais, São Paulo e no Espírito Santo. No segmento de empreendimentos residenciais e comerciais de alto luxo, a empresa X Engenharia e Edificações entregou mais de 100 empreendimentos. A empresa X entende que para garantir credibilidade no mercado imobiliário é necessário garantir qualidade de seus projetos e adoção de constantes inovações no seu processo construtivo, utilizando materiais de primeira linha e se preocupando em entregar os edifícios no prazo estabelecido em contrato.

A Empresa X fez-se, em seu segmento, uma das primeiras no Brasil a receber, em 1998, a certificação ISO 9001. Em 2005, teve reconhecimento pelo Sinduscon-MG como “a empresa da construção civil que mais se destacou no setor” e recebeu a medalha Wady Simão, a mais importante condecoração da categoria em Minas. Nos anos de 2008, 2010 e 2017, conquistou o XI, o XIII e o XVIII Prêmio Segurança do Trabalho (Sinduscon - MG e Seconci - MG), entre outros.

Apesar de ser uma empresa forte em seu setor ainda apresenta processos de gerenciamento e produção ultrapassados, centralizados muito devido à governança ser familiar. Dentro deste cenário, a empresa X entendeu que instaurar uma parceria de desenvolvimento de pesquisas com a UFMG em busca do desenvolvimento e modernização dos seus processos com a adoção da metodologia BIM seria vantajosa para ambas as partes. A empresa não dispunha histórico anterior de processos da metodologia BIM, encontrava-se no nível 0.

Em relação à estrutura organizacional da empresa, tem-se o presidente, seguido pelos diretores, gerentes e coordenadores de cada departamento. Destaca-se que a engenharia de projetos dos empreendimentos é desenvolvida dentro da própria empresa, o que facilita os fluxos de comunicação e entendimento da encomenda. Os papéis dos coordenadores também merecem destaque, por se tratar de profissionais bastante experientes e que conduzem diversas obras simultaneamente.

4.4 Fase de Desenvolvimento

Nesta seção são descritas as técnicas e métodos de coletas de dados necessários ao estudo exploratório em questão. O processo de modelagem adotado na pesquisa fez-se similar durante a utilização dos dados reais e com os dados empíricos. Também são efetivamente estudados os atributos e seus requisitos reais necessários.

4.4.1 Métodos e Técnicas de Coleta e Análise de Dados

As técnicas e métodos de coleta e análise de dados que foram necessárias para estruturar e elucidar os objetivos desta pesquisa foram baseadas nas principais referências da literatura. Yin (2003) afirma que os melhores estudos se baseiam em diferentes fontes de evidência, portanto não se limitando a uma única fonte.

No que diz respeito à observação direta e registro fotográfico Yin (2003, p. 92) discorre sobre o instrumento da observação que “ao fazer uma visita de campo ao local do estudo, cria-se uma oportunidade de observação direta”. As observações são fontes de evidência úteis para fornecer informações adicionais sobre o objeto investigado e as fotografias auxiliam na transmissão dessas características (YIN, 2003).

Observação direta que, segundo Yin (2003) pode ser informal (ex. visita ao local do estudo) ou de forma sistemática (com a utilização de protocolos para medir certos tipos de comportamento durante períodos de tempo determinados, ex. observação em reuniões). Escolheu-se esta técnica por permitir que a pesquisadora fizesse registros do empreendimento concluído e averiguasse a modelagem 3D dos projetos. Também usou-se o arquivo de registros da empresa e do google maps para análise das atividades que estavam sendo realizadas conforme as simulações 4D desenvolvidas.

Com relação à observação participante, que segundo Yin (2003) permite ao pesquisador não ser apenas um observador passivo, mas participar dos eventos investigados e assumir diferentes papéis dentro do estudo participando dos eventos que estejam sendo estudados. Permitiu-se desta forma, que a pesquisadora

participasse de reuniões de planejamento colaborativo da implantação do BIM, mesmo sem a intenção de interferir diretamente nas discussões durante as reuniões.

Não se tratavam de reuniões de Planejamento da obra propriamente visto que a obra encontrava-se concluída, mas gerava-se discussões de como se deu o andamento das atividades e, principalmente, de como deveria ser no caso de novas obras. Nessas reuniões a pesquisadora assumiu papel ativo de implementação e desenvolvimento da estrutura do plano ao manipular a ferramenta e promoção de discussões acerca das simulações, dos conflitos que surgiam conforme a modelagem avançava e análise da simulação explicativa. Papel este, típico de pesquisa construtivas em que o pesquisador é atuante.

Além da participação na reunião colaborativa de implantação do BIM, a pesquisadora acompanhou uma visita ao local do empreendimento, junto com o representante do cliente, arquiteto, e parte da equipe de execução. Nesta visita foram discutidas técnicas e materiais utilizados para o processo construtivo.

E por fim, sobre a análise de documentos Yin (2003) realça que em um estudo de caso é fundamental a fim de garantir a evidência de outros agentes, como as entrevistas, em que os documentos podem reiterar os resultados das mesmas. Com esta técnica de coleta de dados utilizada, obteve-se os principais documentos relevantes à pesquisa. A maioria dos documentos consultados estavam disponíveis em pastas compartilhadas entre os envolvidos, no meio virtual, facilitando a troca de informações entre os mesmos e, conseqüentemente a análise destes documentos. Os documentos não disponíveis foram solicitados, e aqueles que não possuíam dados sigilosos das empresas, foram disponibilizados fisicamente ou por correio eletrônico.

Alguns documentos como as planilhas de Planejamento de longo prazo são fontes de evidência para o estudo. Os principais documentos utilizados na execução do modelo 4D foram os arquivos em CAD 2D dos projetos do empreendimento para a modelagem BIM além do Planejamento de longo prazo.

4.4.2 Estudo Exploratório

Realizou-se o estudo exploratório com os dados de um edifício de alto luxo construído em um bairro nobre na cidade de Belo Horizonte-MG. A obra constituiu-se de um edifício de 21 andares, sendo cada pavimento composto por apartamentos de 235,96 m² com 4 suítes e apartamentos de 213,41 m² - 2 suítes e 2 semi-suítes contendo 4 e 5 vagas de garagem. Além de área de lazer com espaço *fitness*, salão de festas, salão de jogos, *playground*, espaço *kids*, espaço *gourmet*, piscinas aquecidas descobertas adulto e infantil, piscina coberta aquecida, com raia de 25 metros integrada à sauna a vapor, espaço massagem, churrasqueira, quadra de tênis de saibro, quadra esportiva e *home cinema*, totalizando em torno de 11 mil metros quadrados de área construída. As plantas dos apartamentos tipo e do pilotis podem ser observados ns Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 – Apto Tipo 01 – 235,96m² – 4 suítes



Fonte: Documentos da Empresa X

Figura 11 – Apto Tipo 02 – 213,41m² – 2 suítes e 2 semi-suítes



Fonte: Documentos da Empresa X

Figura 12 – Planta Pilotis



Fonte: Documentos da empresa X

A responsabilidade por todas as fases do projeto deu-se pela construtora parceira ainda pelo método tradicional em 2D com extensão. Dwg. O período de Junho/2015 à Abril/2018 em um total de 23 meses de duração do empreendimento abrangendo desde o desenvolvimento dos projetos à implantação da obra. Adotou-se no edifício alvenaria de vedação com blocos cerâmicos e estrutura composta por vigas, pilares e lajes de concreto armado. No Quadro 08 apresenta-se resumidamente os principais elementos construtivos adotados no empreendimento e na Figura 13 ilustra-se a fachada do empreendimento concluído.

Quadro 09 – Principais elementos construtivos do empreendimento

Elemento Construtivo	Materiais/Técnicas Construtivas
Fundações	Estaca hélice contínua
Superestrutura	Concreto estrutural usinado Fck=40,0 MPa
Paredes	Alvenaria com tijolo cerâmico
Lajes	Concreto estrutural usinado Fck=40,0 MPa
Acabamento das Paredes Internas	Textura e Pintura
Acabamento das Paredes Externas	Revestimento laminado melamínico
Revestimento externo e acabamentos	Granito para fachada aerada
Esquadrias	Esquadrias de Alumínio

Fonte: A autora

Figura 13 – Fachada de implantação do empreendimento de 21 andares



Fonte: Documentos da empresa X

O desenvolvimento do estudo teve início em junho de 2018 e durou até novembro de 2018. A construtora não detinha nenhum processo BIM preliminar implantado. Primeiramente, foram realizadas reuniões e treinamentos semanais com a equipe projetos de arquitetura, engenharia, responsável pelo desenvolvimento dos projetos e, posteriormente, com a equipe de implantação (operação), para um melhor entendimento das etapas da obra executada, dos produtos e técnicas aplicadas assim como as características da empresa.

Com o avanço da modelagem BIM 3D iniciou-se a vinculação dos elementos da obra ao plano de atividades executado, gerando-se, assim, os primeiros cenários de visualização dinâmica utilizando o *software* de modelagem 4D. A partir das simulações iniciais ocorreram reuniões para discussão e aprimoramento do modelo. As reuniões ocorreram com uso da ferramenta de simulação e principalmente com o uso dos vídeos exportados.

No Quadro 09 mostra-se os objetivos e as fontes de evidências utilizadas neste estudo exploratório.

Quadro 010 – Objetivos das fontes de evidência

Etapa	Ações e Evidências	Objetivo
Preparação para o Estudo	Observação direta- Visita ao escritório da empresa X	Entender o fluxo dos processos entre os setores e as principais interações
	Observação direta – Visita ao empreendimento objeto do estudo exploratório	
	Análise de documentos Modelagem BIM em <i>ArchiCad</i> a partir dos projetos arquitetônicos 2D da unidade base e de todo o empreendimento	Identificar as principais características do empreendimento e as soluções empregadas
Modelagem BIM 3D	Modelo 3D (ifc)	Replicação das unidades base nos pavimentos e nas quantidades de blocos necessárias para modelar o empreendimento em BIM

Modelagem 4D	BIM	Análise de documentos, plano de atividades, registro fotográfico	Modelar estratégias de execução do empreendimento através da simulação 4D
Aplicação conjunto atributos	do modelo de simulação 4D	Aprimoramento do modelo de simulação 4D Observação participante	Tornar mais visual e explanativo as possibilidades de uso além da visualização dinâmica Discutir possibilidades de layout da obra

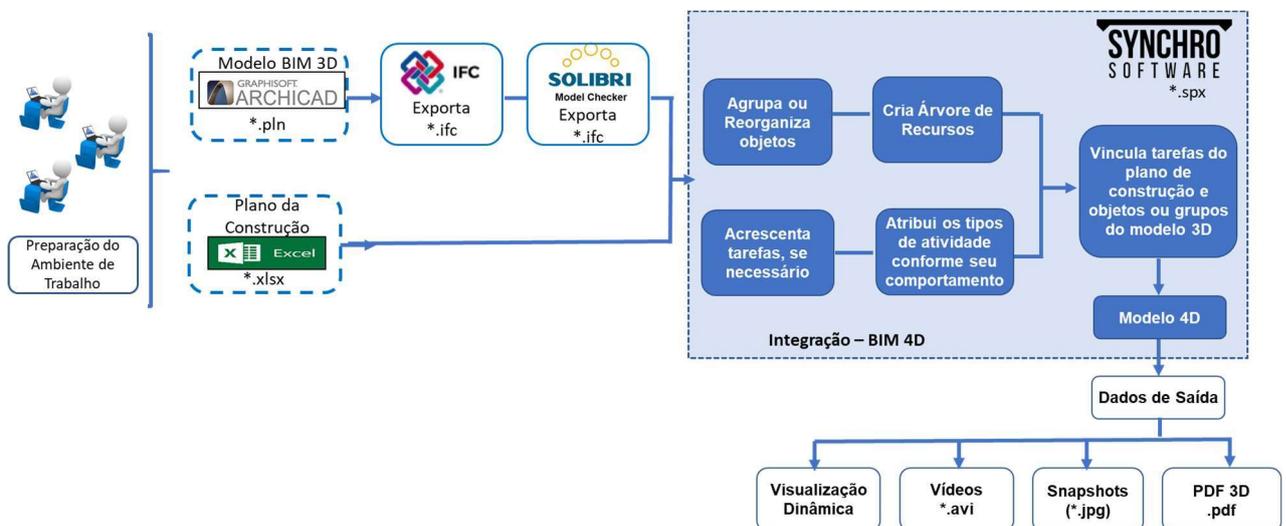
Fonte: A autora

4.4.3 Processo de Modelagem

Afirmou-se em capítulos anteriores que existe a possibilidade de simular o processo de construção ao longo do tempo. A questão agora é: até que ponto isso é viável e quais cuidados se fazem necessários? Com a ajuda dos requisitos descritos no item 3.4, o objetivo é provar o que esses estudos sugerem, avaliar por meio de um exemplo prático o que é possível e o que não é. Ao mesmo tempo, a atenção especial que deve ser dada ao fluxo de trabalho.

O fluxograma apresentado na Figura 14 ilustra o processo de modelagem 4D simplificado adotado na presente pesquisa, mas há variações possíveis nesse fluxo que serão melhor exploradas no item 4.4.3.3.

Figura 14 – Diagramação do processo de modelagem 4D



Fonte: A autora

Para concluir esta parte prática, primeiro o modelo BIM e o cronograma devem estar produzidos, para mesclá-los posteriormente e gerar o modelo 4D BIM. Esta é a análise resumo de um fluxo de trabalho bastante comum: mesclar um modelo do *Archicad* com um cronograma do excel no *Synchro PRO* para modelagem 4D.

4.4.3.1 Descrição e Realização do Modelo BIM

O processo de modelagem inicia-se com o levantamento do escopo, das diretrizes básicas do projeto e dos requisitos de seu patrocinador. Porém, como este estudo aborda um empreendimento previamente construído, os projetos desenhados em CAD 2D foram disponibilizados, contendo a maior parte das informações relacionadas à disposição, utilização e a dimensão dos cômodos, assim como o posicionamento das estruturas, alguns acabamentos, as janelas, as portas e demais elementos.

Apesar da entrega dos projetos, para a modelagem acabou faltando informações principalmente, em relação às dimensões e acabamentos. Exemplo: espessura e localização de contrapiso, tipologia de acabamentos, compatibilização entre projeto de estruturas, arquitetura e de piscinas e de alguns outros ambientes que não estavam detalhados nos projetos CAD 2D. Para a efetivação da modelagem, as informações complementares foram disponibilizadas nas reuniões junto aos engenheiros da obra.

A aprovação dos projetos em órgãos públicos usualmente acontece nos projetos desenhados em 2D, visto que os mesmos, ainda não possuem ferramentas para a análise dos projetos modelados em BIM, mas é possível realizar a modelagem e extrair tais plantas para esta etapa. Embora a modelagem seja majoritariamente intuitiva, a parametrização dos objetos modelados é um processo mais criterioso, porém não será descrito detalhadamente, visto que não compõe os objetivos da pesquisa. Será abordado de maneira a explicar algumas etapas que se fizeram necessárias.

Após o levantamento de todos os requisitos do projeto e a determinação dos métodos construtivos, foram definidos os parâmetros dos elementos modelados. Os modelos que foram utilizados como referência para o desenvolvimento gradativo de um “armazém virtual”, para a composição do futuro

template, continham elementos construtivos e bibliotecas de objetos (como esquadrias, equipamentos fixos e sanitários, etc.) com parâmetros e informações definidas de acordo com as especificações do projeto fornecido. Na Figura 15 apresenta-se algumas composições de elementos que foram criadas com o ID *Archicad* associado, para organização dos grupos similares.

Figura 15 – Definição de requisitos dos elementos das alvenarias

PE.T1.01 	Exterior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 19,0 cm
PE.T2.01 	Exterior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 14,0 cm
PE.T3.01 	Exterior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 11,5 cm
PE.T4.01 	Exterior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 9,0 cm
PI.T1.01 	Interior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 19,0 cm
PI.T2.01 	Interior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 14,0 cm
PI.T3.01 	Interior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 11,5 cm
PI.T4.01 	Interior	Tijolo - Cerâmico	Espessura 9,0 cm

Fonte: A autora

Diferentemente da maior parte dos elementos construtivos, a modelagem de paredes e de lajes (inclusive revestimentos de pisos e teto) fez-se com dois métodos diferentes, combinados entre si. O método de estrutura do elemento “básica” e o método “composto”.

No método de estrutura básica, o elemento possui somente um material de construção e espessura variável. Na estrutura composta ela precisa ser desenhada separadamente, pois é feita uma composição de camadas de materiais de construção e a espessura final depende da espessura de cada camada e perfil complexo, que abrange paredes que não possuem um perfil reto ou camadas regulares.

No método composto, as paredes são exportadas com divisão de camadas, pois, caso contrário, o programa assumiria que é um bloco único, não podendo ser vinculado à informação de revestimentos, na Figura 16 tem-se um exemplo. Desta

forma, o nível de detalhamento e a precisão do sistema tornar-se reduzido. Uma boa prática é de que todas as paredes sejam modeladas pelo método básico (externas, núcleo e internas) e serem identificadas separadamente, a fim de possibilitar a extração de quantitativos por camada. Porém, neste formato demanda mais h/h trabalhada além, de pesar mais os arquivos.

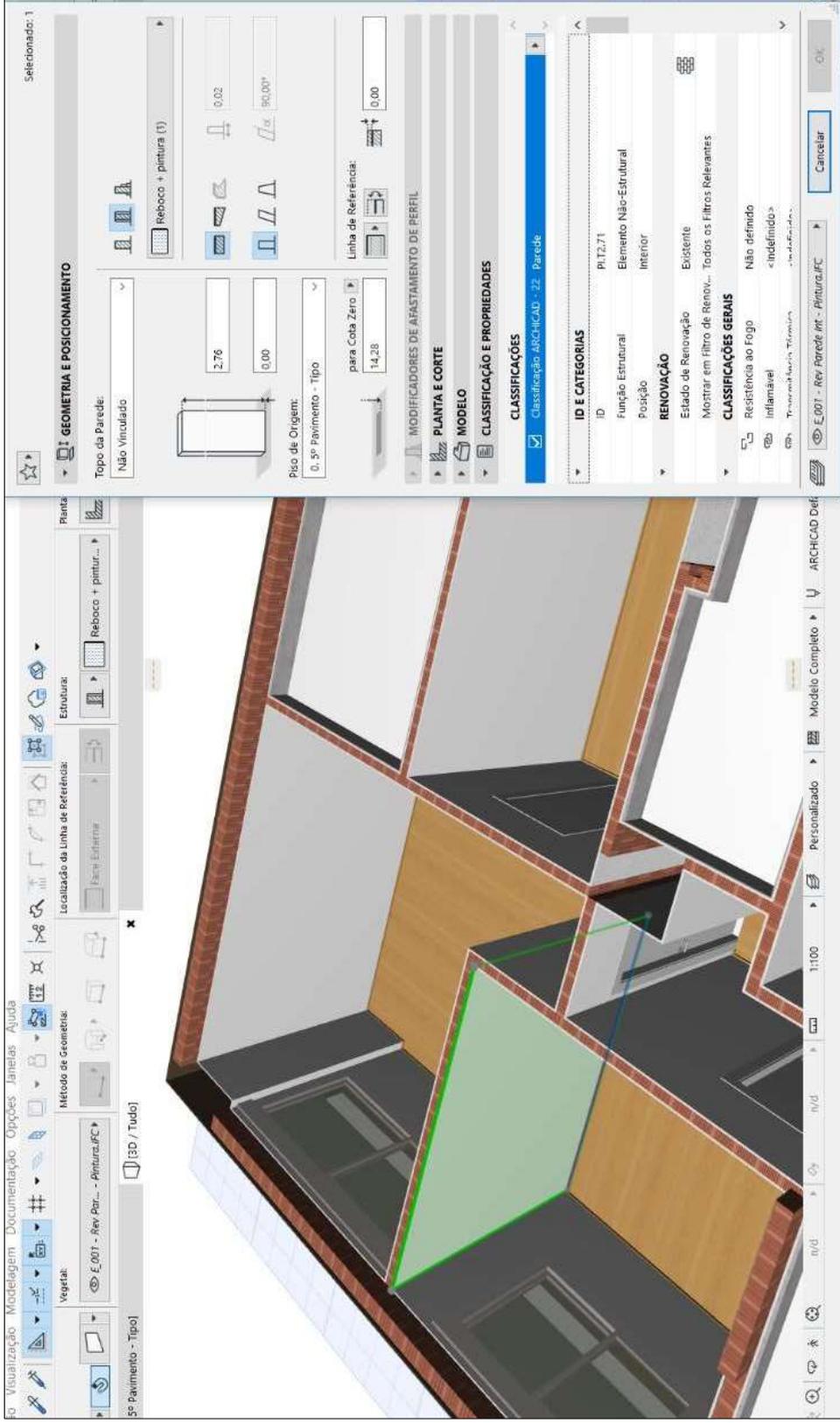
Os modelos 3D têm um esquema de camadas específico conforme mostrado anteriormente, dentro do aplicativo de modelagem 3D. No entanto, na construção real do projeto (e na representação do modelo 4D), os elementos nunca são construídos de uma vez só, por isso é essencial que o gerenciamento do modelo tenha a utilização do esquema de camadas para que suporte as atividades de modelagem 4D.

Cada elemento construtivo apresenta suas próprias características e as características dos materiais nela empregado. Estes dados posteriormente podem ser utilizados para a avaliação do desempenho do sistema construtivo.

Sakamori (2015), afirma que a maior dificuldade para a execução de um modelo é a falta de bibliotecas de elementos e uma restrita base de dados por parte do *software*. Atualmente as bibliotecas disponíveis são relativas à tubulação, conexões hidráulicas, louças e metais sanitários. Os sistemas construtivos adotados no Brasil são caracterizados pela construção *in loco* com pouca utilização de elementos pré-fabricados, faltando por parte dos fabricantes, a necessidade da criação de bibliotecas de elementos BIM.

O *software* utilizado para a modelagem disponibilizou a importação direta do arquivo em formato DWG. O arquivo de formato DWG é o formato mais utilizado para a geração de projetos arquitetônicos e é um formato proprietário da Autodesk®. O projeto desenvolvido atendia todas as normas exigidas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, contendo planta, vistas, cortes, implantação. O processo de modelagem é bastante simplificado, no qual as linhas desenhadas no CAD 2D são transformadas em um modelo 3D. Na Figura 17 apresenta-se a imagem do andar tipo padrão do edifício no modelo tridimensional parametrizado.

Figura 16 – Parede interna modelada no Archicad pelo método composto



Fonte: A autora

Figura 17 – Visão tridimensional do andar padrão do edifício modelado



Fonte: A autora

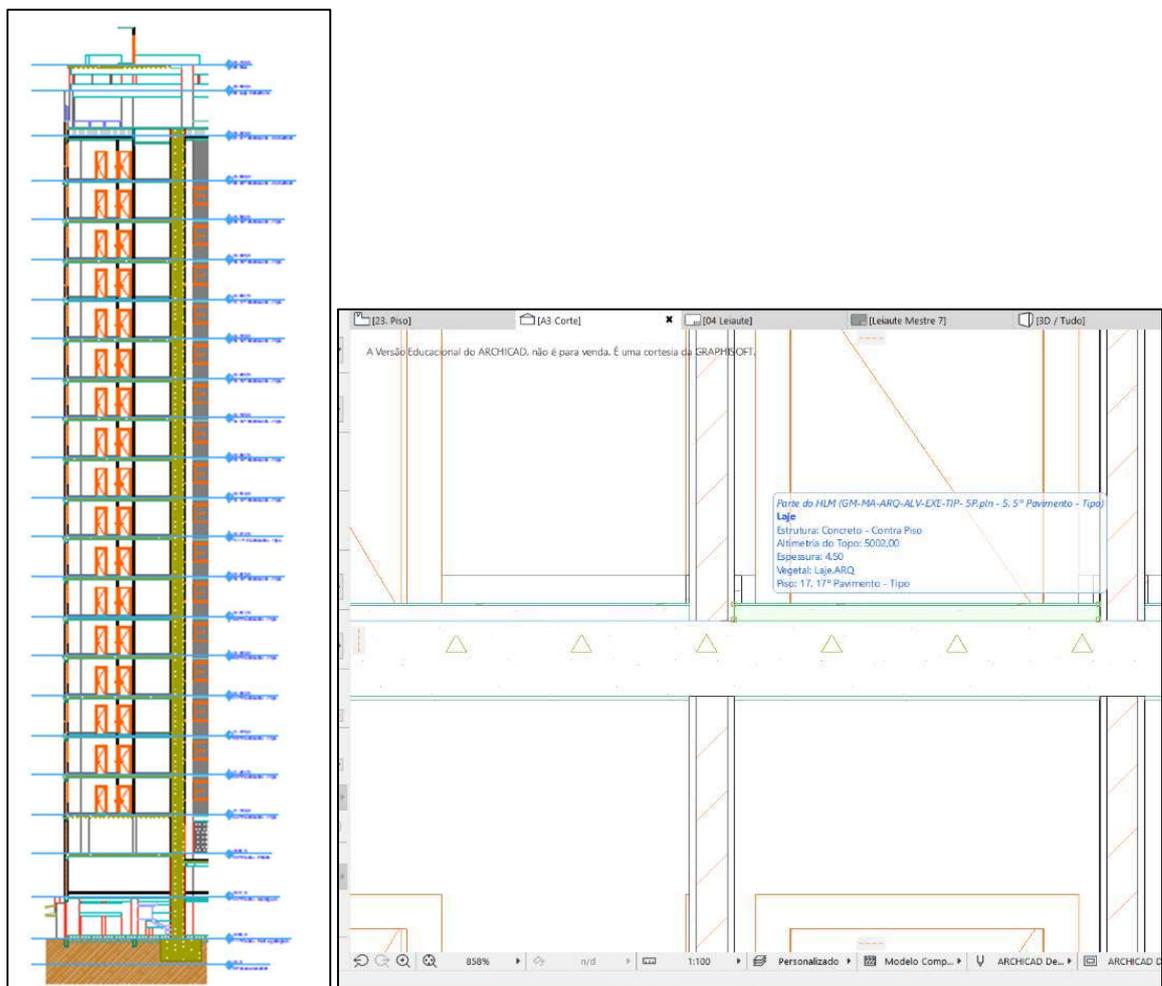
Todo o processo é gráfico, facilitando a visualização de cada elemento construtivo e as possíveis interferências durante o processo de modelagem. O recurso de visualização da edificação em outras perspectivas permite ao profissional responsável pela modelagem buscar pelas incompatibilidades bem como a possibilidade de aplicar diferentes alternativas de projeto ainda na fase de modelagem arquitetônica.

A utilização da ferramenta de corte do *Archicad* permite ao profissional responsável pela modelagem a aplicação de cortes instantâneos e especificamente no local em que se deseja observar algum detalhe. Durante o processo de modelagem é possível verificar em tempo real de como a edificação ficará após o término da construção, permitindo que sejam analisadas as definições de cores e dos materiais de acabamento. Ilustra-se na Figura 18 cortes instantâneos tanto de uma visão geral de todos os andares do edifício quanto de um detalhe construtivo do acabamento do contrapiso.

Como existia uma limitação de tempo e de verba do projeto e devido ao fato da autora considerar desnecessário validar os requisitos e as capacidades dessas ferramentas, não é o objetivo deste trabalho criar e manipular um modelo extremamente complexo.

De qualquer forma, a pesquisa poderia ter sido estendida ainda mais ao nível desejado de complexidade. No entanto, é preciso ter em mente que, à medida que o modelo aumenta de tamanho, os requisitos do equipamento usado aumentam consideravelmente. Os requisitos operacionais mínimos requeridos estão indicados no Apêndice A para se trabalhar com o *Synchro Pro* e que permitiam o uso do *Archicad*.

Figura 18 – Corte visão geral (à esquerda) e detalhes construtivos (à direita)



Fonte: A autora

Alguns critérios de projeto específicos foram considerados para a criação do modelo. Na Figura 19 ilustra-se a incorporação de propriedades não geométricas das esquadrias na modelagem 3D. A ideia principal foi ter um edifício composto por diferentes elementos para realizar uma análise lógica das possibilidades oferecidas pelos aplicativos.

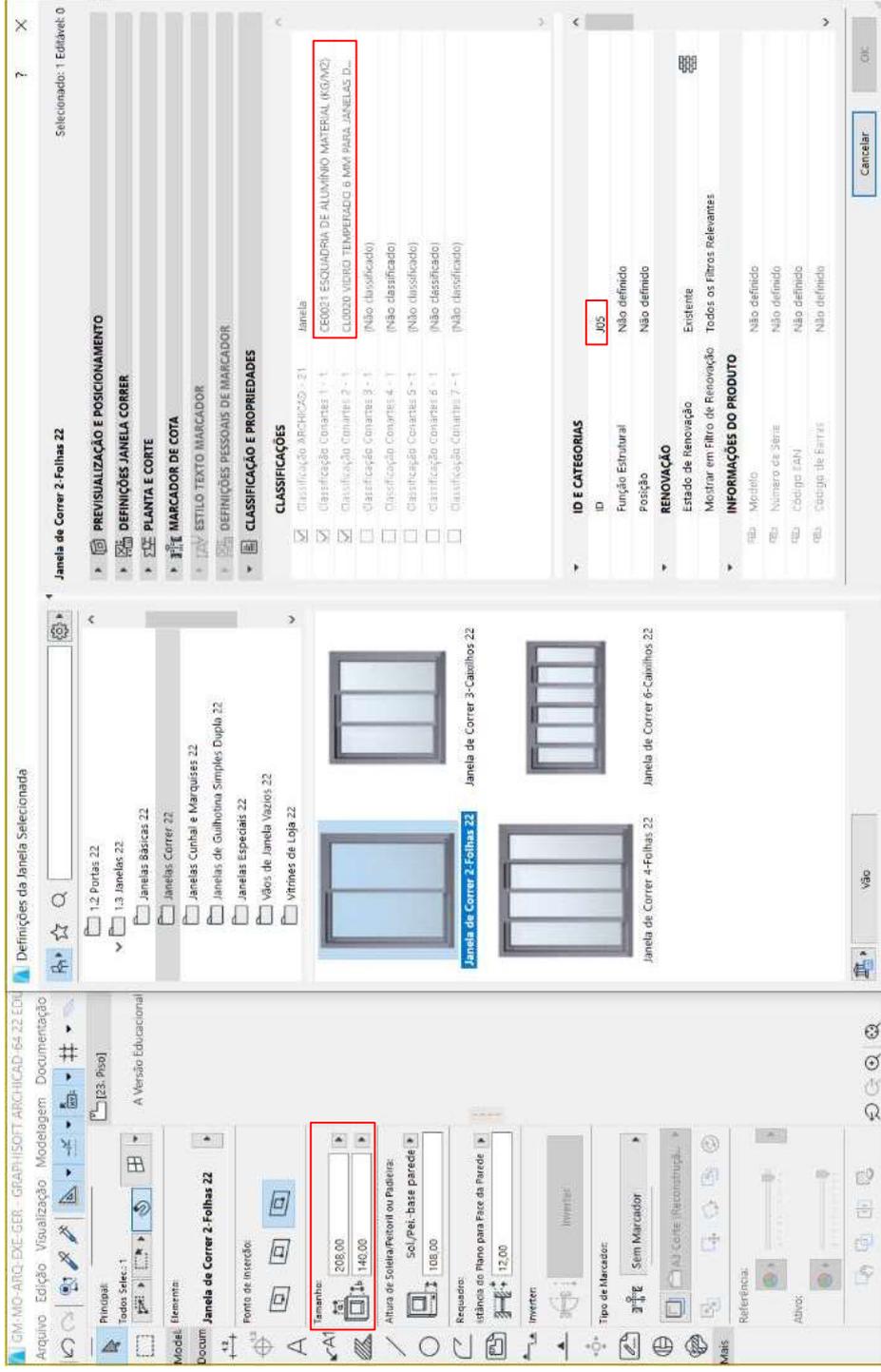
O modelo do edifício gerado no *Archicad* consistiu em 21 andares com as informações do projeto estrutural e arquitetônico. Os elementos usados para compor o modelo assumiram um nível de desenvolvimento LOD 300, de um modo geral. No LOD 300 a modelagem está mais precisa e também são anexadas informações não geométricas aos elementos do modelo. Na fase de construção, o LOD variaria para uma maior definição de cada um dos elementos.

Para facilitar a visualização do modelo no *software Synchro PRO*, podem existir alguns requisitos para a saída do modelo *Archicad* que se podem ser levadas em consideração durante a criação que facilitaria a modelagem 4D. O processo consiste em adicionar parâmetros do projeto aos elementos no modelo. Duas opções avançadas podem ser exploradas: (1) a divisão dos elementos em partes e zonas e (2) a atribuição de um ID da tarefa aos elementos.

- Peças e zonas: embora elementos com uma geometria pré-estabelecida, como portas e janelas, não exijam qualquer preparação, alguns outros, como pisos, paredes, lajes, podem precisar ser divididos em partes para melhor representar sua sequência de construção. Por exemplo, as lajes podem ser divididas em zonas de concretagem, assim como as paredes precisam ser modeladas em camadas para permitir a visualização das etapas de acabamento, conforme se observa na Figura 20. Isso deve ser feito antes da exportação do modelo para o *Synchro PRO*.

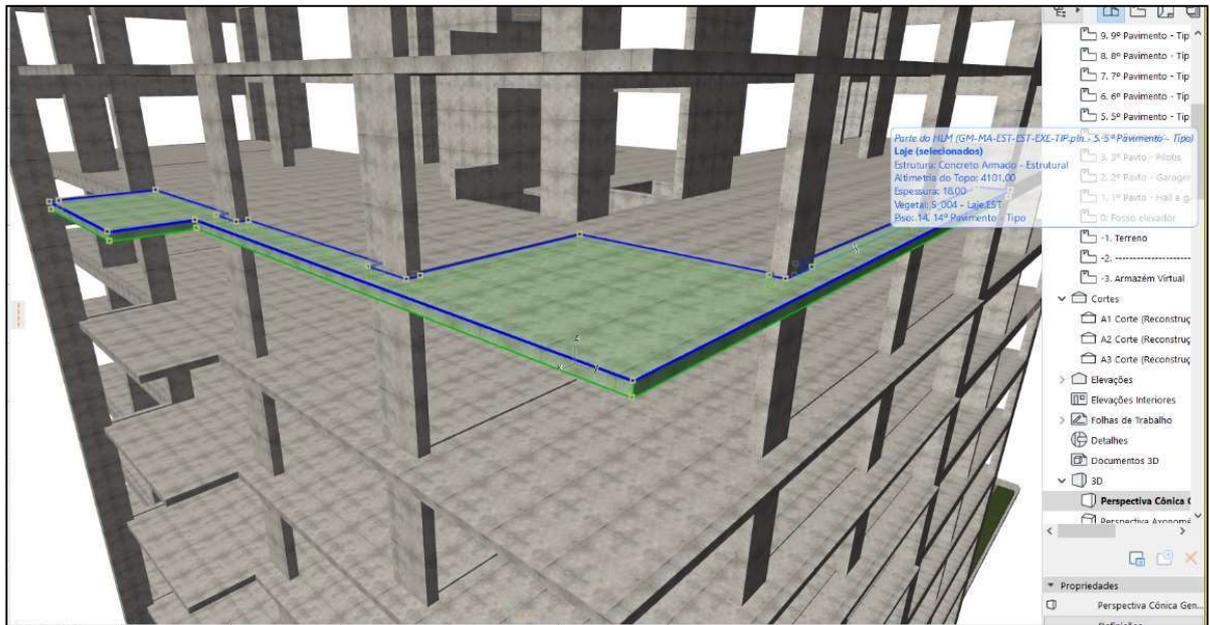
- Atribuição do ID da tarefa aos elementos: existe uma possibilidade interessante de incluir um parâmetro nos elementos do modelo, para fazer referência às tarefas no cronograma de construção e facilitar o processo de mapeamento no futuro. Isso deve ser feito antes da exportação do modelo para o *Synchro PRO*.

Figura 19 – Propriedades não geométricas do elemento janela de correr



Fonte: A autora

Figura 20 – Zona de concretagem modelada no Archicad



Fonte: A autora

A classificação pelo ID pode ser feita pela classificação do *Archicad*, o que permitiria o uso de regras automatizadas para associar os objetos, além de organizar o armazém virtual dos elementos. Entretanto, ressalta-se que pelas propriedades IFC comprova-se que cada objeto modelado é único e possui um ID único ao ser importado/exportado pelo IFC mesmo que tenha sido fruto de cópia de outro elemento, pois ele irá carregar as propriedades, mas irá vincular à um ID IFC diferente. Na Figura 21 apresenta-se os campos de ID pela classificação *Archicad* e pelo IFC.

Na Figura 22 apresenta-se o modelo BIM original gerado no Archicad. No próximo passo importou-se para o Synchro PRO com a devida vinculação do cronograma de construção desenvolvido. Nesse caso, exportou-se o modelo criado em .ifc com as partes referentes aos andares nos tamanhos em que seu estado bruto de aproximadamente 7300 KB cada, sendo repetido 21 vezes, além do arquivo da estrutura com 81.063KB. Essa dinâmica não representa a realidade de um projeto em grande escala, na qual seria normal executar arquivos grandes com a consequente necessidade de um computador com capacidade maior aos requisitos mínimos indicados no Apêndice A.

Figura 21 – ID pela classificação *Archicad* e pela propriedade IFC

CLASSIFICAÇÃO E PROPRIEDADES	
CLASSIFICAÇÕES	
<input checked="" type="checkbox"/>	Classificação ARCHICAD - 22 Parede
ID E CATEGORIAS	
ID	Parede-002
Função Estrutural	Não definido
Posição	Não definido
RENOVAÇÃO	
CLASSIFICAÇÕES GERAIS	
CONSTRUÇÃO PRINCIPAL	
MEIO AMBIENTE	
ALVENARIAS (Expressão)	
EXPRESSÕES DE TEXTO (Expressão)	
SUPERFÍCIES (Mapas)	
PROPRIEDADES IFC	
Tipo de IFC	#cWallStandardCase
ID IFC ARCHICAD	3ND14m67v71eubhcpegqP
Globalid (Atributo)	3ND14m67v71eubhcpegqP
Name (Atributo)	Parede-002
Tag (Atributo)	D736F130-207E-4706-8E2E-966CE8AA6D19
	Gerenciar Propriedades IFC...

Fonte: A autora

Figura 22 – Vistas do modelo BIM gerado em *Archicad*



Fonte: A autora

4.4.3.2 Descrição e Realização do Cronograma

Como mencionado, o *Synchro PRO* conta com a funcionalidade de programação interna para a introdução de atividades, reprogramação e edição do planejamento e vários outros recursos integrados nele. Quando se trata de elaborar o cronograma, existem muitos métodos diferentes para chegar ao mesmo ponto, mas alguns deles consomem mais tempo do que outros. Não é ênfase desta

pesquisa questionar os índices de produtividade e ou quantidade de recursos requeridos para se alcançar o planejamento previamente dimensionado.

No entanto, devido ao cronograma ter sido concluído e previamente elaborado em excel, o mesmo será importado para ser trabalhado dentro do ambiente 4D. É importante destacar que a importação no *Synchro PRO* pode vir de fontes agendamento / planejamento diferentes tais como outros projetos *Synchro PRO* e *Synchro Scheduler* (extensão de arquivo .SP), Primavera P3, Primavera P6, Asta Powerproject, PMA NetPoint, IFC, Microsoft Project XML e Excel.

Preparou-se uma sequência de construção simples com base no modelo BIM. As durações reais foram utilizadas e relacionamentos entre as atividades foram adicionados a todas as tarefas. As diferentes maneiras de criar o cronograma no ambiente 4D são descritas no item 4.4.3.3. Nesse caso, o agrupamento de elementos nas atividades geralmente é feito reunindo os elementos por nível.

Se o cronograma for criado diretamente no *MS Project*, é de grande importância incluir duas colunas extras: "Task ID" e "Task Type" (Coluna Texto 1), mas mesmo que seja no excel manter essas informações é fundamental para a organização do modelo. O ID da tarefa consiste em um código fornecido para cada tarefa (Quadro 10) e o Tipo de tarefa é introduzido com o objetivo de distinguir entre elementos temporários, a serem construídos e a serem demolidos. No Quadro 10 mostra-se as atividades categorizadas no tipo de tarefa "construir". No entanto, as atividades nas categorias "demolir" e "temporário" também podem ser adicionadas.

Cumpram-se destacar que podem haver atividades que não estejam representadas em nenhum objeto no modelo, mas que consomem igualmente tempo. Elas são irrelevantes para a simulação 4D, mas precisam ser considerados no cronograma, representando um período de espera ou um marco. Na Figura 23 ilustra-se o cronograma original gerado no excel. O próximo passo é importá-lo para o *Synchro PRO* para começar a criar o modelo 4D BIM.

Existem métodos para fazer com que o modelo 3D e o cronograma correspondam entre si. Esses métodos usam um identificador exclusivo de elementos e tarefas, com a Estrutura Analítica de Projetos (EAP) e também usando uma convenção de nomenclatura consistente reconhecida pelo *software* de modelagem e programação. O detalhamento de como realizar essa vinculação está no item a 4.4.3.3.

Quadro 11 – Parâmetro ID de identificação das tarefas

ID	TASK
02	INFRA ESTRUTURA
02.01	CONTENÇÃO
02.01.001	RETROESCAVADEIRA CORPICÃO PARA CONTENÇÃO
02.01.002	CRAVAÇÃO DE PERFIL METÁLICO - MATERIAL
02.01.003	CRAVAÇÃO DE PERFIL METÁLICO - MÃO DE OBRA
02.01.004	PRANCHAMENTO - CONTENÇÃO - MÃO DE OBRA E MATERIAL
02.01.005	EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE TIRANTES EM CONTENÇÕES
02.01.006	LANÇAMENTO E APLICACAO DE CONCRETO EM FUNDACAO
02.02	FUNDAÇÃO
02.02.001	RETROESCAVADEIRA E MOBILIZAÇÃO PARA FUNDAÇÃO
02.02.002	ESTACA HÉLICE CONTÍNUA - CONTRATADA MEKSOL
02.02.003	ARMAÇÃO PARA FUNDAÇÃO
02.02.004	CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK=20,0MPa CONSIDERANDO 20% DE PERDA PARA FUNDAÇÃO
02.02.005	LANÇAMENTO E APLICACAO DE CONCRETO EM FUNDACAO
02.03	CINTAS E BLOCOS
02.03.001	ESCAVAÇÃO CINTAS E BLOCOS CONSIDERANDO ESCAVAÇÃO, QUEBRA DE PONTA DE ESTACA PARA EXECUÇÃO DOS BLOCOS, EMPOLAMENTO DE 30%, RETIRADA DA TERRA, RETROESCAVADEIRA PARA EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS, E TRANSPORTE DA TERRA A SER DESCARTADA.
02.03.002	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS COM MACO DE 30KG
02.03.004	ARMAÇÃO PARA CINTAS E BLOCOS
02.03.005	CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK = 30 MPA
02.03.006	LANÇAMENTO DE CONCRETO FCK=30MPA EM FUNDAÇÃO
02.04	CORTINA DE CONCRETO
02.04.001	FORMA PARA CORTINA (REAPROVEITAMETO DA CHAPA COMPENSADA DE 15 X)
02.04.002	ARMAÇÃO PARA CORTINA CONSIDERANDO A SOLDA NO TRILHO
02.04.003	CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK = 25 MPA
02.04.004	LANÇAMENTO DE CONCRETO EM FUNDAÇÃO
02.05	SISTEMA DE DRENAGEM
02.05.001	APLICAÇÃO DA MANTA MACDRIN
02.05.002	DRENO COM TUBO CORRUGADO D= 100 MM
02.05.003	REATERRO - ENCHIMENTO COM AREIA PARA CORTINA
02.05.004	IMPERMEABILIZAÇÃO DA CORTINA

Fonte: Adaptado da empresa X

Figura 23 – Parte do cronograma original criado no Excel

Serviço	Descrição	Início	Fim	Und.	Qtd. Prev	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15
02	INFRA ESTRUTURA	01/06/2015	31/03/2016		0							
02.01	CONTENÇÃO	01/06/2015	30/12/2015		0							
02.01.001	RETROESCAVADEIRA CORPICÃO PARA CONTENÇÃO	01/06/2015	30/06/2015	h	150	100%						
02.01.002	CRAVAÇÃO DE PERFIL METÁLICO - MATERIAL	01/06/2015	30/06/2015	KG	45000	100%						
02.01.003	CRAVAÇÃO DE PERFIL METÁLICO - MÃO DE OBRA	01/06/2015	30/06/2015	KG	1	100%						
02.01.004	PRANCHAMENTO - CONTENÇÃO - MÃO DE OBRA E MATERIAL	01/06/2015	30/06/2015	vb	1	100%						
02.01.005	EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE TIRANTES EM CONTENÇÕES	01/06/2015	30/11/2015	VB	1	51,8%	44,46%				3,73%	
02.01.006	LANÇAMENTO E APLICACAO DE CONCRETO EM FUNDACAO	01/03/2015	30/12/2015	M3	3249				20%	25%	25%	30%
02.02	FUNDAÇÃO	01/07/2015	31/07/2015		0							
02.02.001	RETROESCAVADEIRA E MOBILIZAÇÃO PARA FUNDAÇÃO	01/07/2015	31/07/2015	vb	1		100%					
02.02.002	ESTACA HÉLICE CONTÍNUA - CONTRATADA MEKSOL	01/07/2015	31/07/2015	vb	1		100%					
02.02.003	ARMAÇÃO PARA FUNDAÇÃO	01/07/2015	31/07/2015	KG	13147		100%					
02.02.004	CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK=20,0MPa CONSIDERANDO 20% DE PERDA PARA FUNDAÇÃO	01/07/2015	31/07/2015	m3	1200		100%					
02.02.005	LANÇAMENTO E APLICACAO DE CONCRETO EM FUNDACAO	01/07/2015	31/07/2015	M3	1200		100%					
02.03	CINTAS E BLOCOS	01/08/2015	30/03/2016		0							
02.03.001	ESCAVAÇÃO CINTAS E BLOCOS CONSIDERANDO ESCAVAÇÃO, QUEBRA DE PONTA DE ESTACA PARA EXECUÇÃO DOS BLOCOS, EMPOLAMENTO DE 30%, RETIRADA DA TERRA, RETROESCAVADEIRA PARA EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS, E TRANSPORTE DA TERRA A SER DESCARTADA.	01/08/2015	30/03/2016	M3	530			80%	20%			
02.03.002	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS COM MACO DE 30KG	01/08/2015	30/03/2016	M2	200			80%	20%			
02.03.004	ARMAÇÃO PARA CINTAS E BLOCOS	01/08/2015	30/03/2016	KG	33000			80%	20%			
02.03.005	CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK = 30 MPA	01/08/2015	30/03/2016	m3	600			60%	40%			
02.03.006	LANÇAMENTO DE CONCRETO FCK=30MPA EM FUNDAÇÃO	01/08/2015	30/03/2016	m3	600			60%	40%			
02.04	CORTINA DE CONCRETO	01/07/2015	31/03/2016		0							
02.04.001	FORMA PARA CORTINA (REAPROVEITAMETO DA CHAPA COMPENSADA DE 15 X)	01/07/2015	30/11/2015	M2	1000	60,00%	16,37%				23,63%	

Fonte: Adaptado dos documentos da empresa X

4.4.3.3 Modelo 4D

Uma vez que o modelo BIM e o cronograma foram gerados, trouxe-se os dados gráficos e não gráficos para o *Synchro PRO*. Mesclá-los por meio de um processo de vinculação e, finalmente, criar o modelo 4D. A preparação do modelo 4D e o fato de lidar com mudanças são algumas das questões mais importantes a serem consideradas. Portanto, o fluxo de trabalho necessário para esses fins precisa permanecer claro durante todo o processo. Como o objetivo da investigação do fluxo de trabalho se baseia no uso de vários aplicativos, a capacidade de alternar de uma plataforma para outra, bem como os recursos de exportação / importação, desempenham um papel importante em toda dinâmica.

Vale ressaltar que quanto melhor a qualidade do modelo BIM e o cronograma, mais refinado será o resultado. O *Synchro PRO* pode importar 58 tipos de arquivos para modelos 3D, incluindo DWF, DWG, DGN, SKP, PDF 3D e IFC. Vários tipos de arquivos podem ser importados para o mesmo mestre *Synchro* conforme exposto no Quadro 11.

Quadro 12 – Padrões de Importação/Exportação no *Synchro PRO*

File Import	File Extension(s)
ACIS	SAT, SAB
Autodesk AutoCAD	DWG, DXF
Autodesk Navisworks	DWF, DWFX, SP (SYNCHRO Plugin required)
Autodesk 3DsMax	FBX
Autodesk Inventor	IPT, IAM
Autodesk Revit	DWF, SP (SYNCHRO Plugin required)
Bentley MicroStation	DGN
Bentley SS4	DGN, SP (SYNCHRO Plugin required)
CATIA V4	EXP, DLV, MODEL, SESSION
CATIA V5	CATProduct, CATPart, CATDrawing, CATShape,
Collada	DAE
Dassault Systems	3D XML
HOOPS stream file	HSF
I-deas	MF1, ARC, UNV, PKG
IFC	IFC 2×3, 2×2
IGES part files	IGES, IGS
PTC ProE/Creo	PRT, ASM, NEU, XAS, XPR
Rhino	3DM
Siemens NX	PRT
Siemens Parasolid	xmt bin, x b, x t, xmt txt
Solid Edge	ASM, PAR, PWD, PSM
SolidWorks	SLDASM, SLDPRT
STEP part files	STEP, STP
Stereo Lithography	STL
Trimble SketchUp	SKP
UGS JT	JT
Unigraphics NX	PRT
Universal 3D	U3D
VDA-FS	VDA
VRML files	VRML, WRL
3D PDF	PDF, PRC

Fonte: A autora

Quadro 13 – Padrões de Importação/Exportação no *Synchro PRO* (continuação)

File Export:	File Extension(s)
Autodesk	DWF, DWFX
Autodesk FBX	FBX
Collada	DAE
HOOPS Stream File	HSF
VRML '97	Only geometries, Beta-version WRL
3D PDF	PDF, PRC

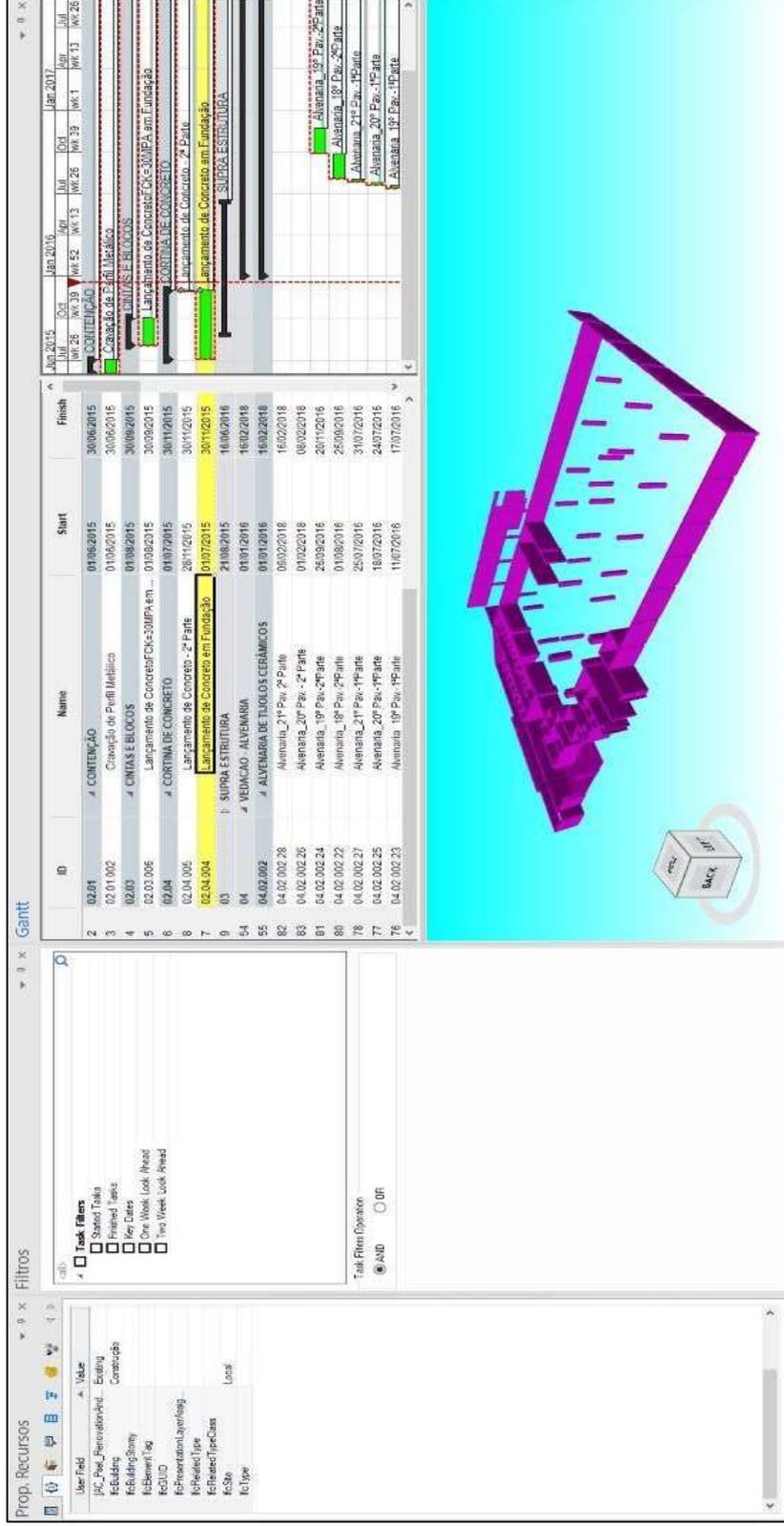
Fonte: A autora

Quando o modelo está em um dos arquivos viáveis do *Synchro PRO*, ele se apresenta como “pronto” no que diz respeito aos dados gráficos e não gráficos do modelo. Na Figura 24 mostra-se o modelo BIM das lajes estruturais abertas no *Synchro PRO*. Para os fins deste estudo, a extensão do tipo .IFC é o formato de arquivo a ser usado continuamente. Na próxima etapa importou-se o cronograma para adicionar o atributo tempo ao modelo. No *Synchro PRO*, o lado esquerdo da janela de Gantt é chamado de Lista de Tarefas e o lado direito é chamado de Gráfico de Gantt.

Ao importar, é importante observar as configurações de importação pois quando determinada opção encontra-se ativada é possível ler informações da unidade, pois processa as informações da unidade do objeto 3D (ou seja, cm, polegadas). Permite ler anotações de texto em 3D, o *Synchro PRO* processará qualquer texto atribuído ao objeto 3D no arquivo CAD. Ao ativar o processamento de campos do usuário, o *Synchro PRO* importará parâmetros gerados pelo sistema e pelo usuário (ou tags) com a geometria 3D como campos do usuário.

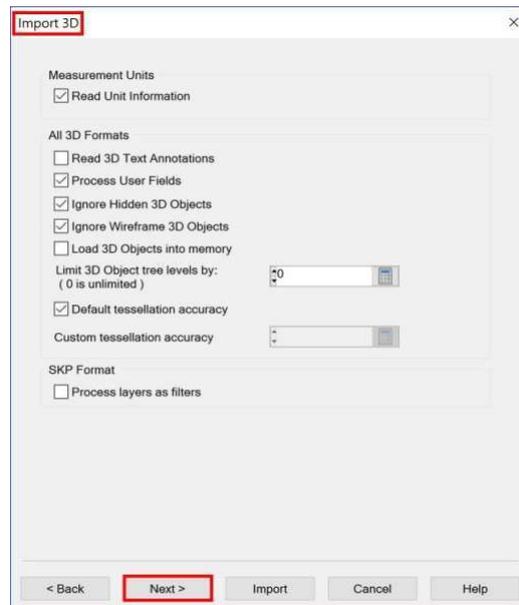
Ainda durante a importação é possível ignorar objetos 3D ocultos, visto que objetos ocultos por filtros ou outros controles de exibição no arquivo 3D não serão importados para o arquivo SP, vide Figura 25. Ao ignorar objetos 3D de estrutura de arame - quando ativado, polilinhas, linhas, arcos circulares, arcos circulares, círculos, arcos elípticos, elipses e objetos de curvas *Non Uniform Rational Basis Spline* – NURBS podem não ser importados para o arquivo SP. Ainda, na Figura 25, ilustra-se que ao importar o modelo é possível controlar se os objetos importados são automaticamente carregados na memória. Se desativado, os objetos importados não serão carregados na memória e não será visível na janela 3D. Desativando essa opção tende a reduzir o tempo de importação e é recomendada especialmente para arquivos grandes.

Figura 24 – Modelo .icf da fundação e cronograma importados no Synchro PRO



Fonte: A autora

Figura 25 – Campos de Importação do *Synchro Pro*



Fonte: A autora

Preparando o modelo: Conjuntos de seleção de recursos

Quando os objetos 3D são importados para o *Synchro PRO*, eles são apenas representações / geometria 3D que podem ser visualizados e manipulados na visualização 3D. Para que a geometria 3D seja vinculada ao cronograma do projeto, eles devem ser atribuídos a Recursos. Eles podem ser considerados "Recursos 3D", que podem ser basicamente uma cópia do nome do objeto ou vários objetos agrupados como um "recurso 3D".

Ressalta-se que um recurso é qualquer coisa utilizada por um cronograma do projeto. No *Synchro PRO*, os recursos são categorizados como Equipamento, Humano, Local ou Material. Os recursos não precisam necessariamente ter uma representação 3D.

Antes de começar a analisar as diferentes funcionalidades do fluxo de trabalho apresentado, deve ser fornecida uma descrição de como preparar o modelo. Uma das etapas mais importantes ocorre logo após a importação do modelo BIM para o *Synchro PRO*. Esse processo consiste em criar conjuntos de seleção de todos os elementos contidos no modelo com base na maneira como ele visa representar o cronograma, por exemplo, a quantidade de elementos vinculados a uma determinada atividade. Quantos conjuntos de seleção, conforme necessário,

devem ser gerados nesta etapa, com o objetivo de facilitar a manipulação de grupos de elementos do modelo.

Para criar recursos durante a importação do modelo 3D é importante usar corretamente o Assistente de Recursos. É possível selecionar “Nenhuma atribuição” o que concluirá o processo de importação 3D sem criar nenhum recurso. Esses objetos 3D não poderão ser atribuídos a Tarefas até que Recursos sejam criados, caso não aconteça no ato da importação precisaria criar Recursos para os objetos 3D ativando o Assistente de Recursos manualmente. Os status dos recursos podem ser usados para rastrear e exibir o progresso de qualquer recurso, desde a pré-construção até o comissionamento independente do progresso da tarefa. As opções de criação de recursos podem ser usadas para ajudar a filtrar ou agrupar os objetos 3D importados.

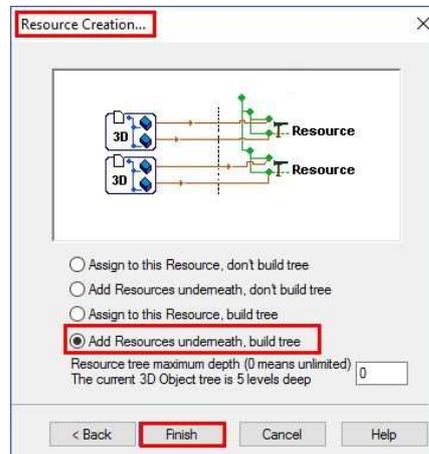
Esses conjuntos são essenciais para o processo de vinculação que vem logo após a importação do agendamento. A "Árvore de seleção" também é muito útil para criar conjuntos, pois organiza automaticamente todos os elementos contidos no modelo, para facilitar a seleção de qualquer item em particular. Além disso, caso mais de um modelo tenha sido anexado, todos eles são visíveis na árvore de seleção.

De um modo geral, verificou-se que as opções de criação de recurso de "não criar árvore" são melhores para agrupar todos os objetos em um arquivo CAD como um; por exemplo, um modelo de equipamento com todas as suas subpartes (rodas, parafusos, etc.) que não precisa ser montado na animação, mas será atribuído às tarefas como um todo. Para atribuir objetos de modelo separadamente a diferentes tarefas usa-se a opção de “construir árvore” e por fim, a opção “Adicionar recursos abaixo, construir árvore” fornece a maior árvore de objetos e a maioria das opções para filtrar e atribuir recursos às tarefas. Para esta pesquisa, adotou-se a associação de cada item individual um recurso separado, com a selecione a opção *Add Resources* embaixo, *build tree* conforme representado na Figura 26.

Depois que os conjuntos de seleção são criados, toda vez que são selecionados, os elementos incluídos neles são destacados no modelo e estão prontos para serem vinculados aos dados do cronograma. Além disso, cada elemento ou conjunto de seleção pode ser isolado do modelo que oculta o restante

dos elementos. Isso ajuda consideravelmente no processo de criação e verificação dos conjuntos de seleção, bem como na visualização de partes internas do modelo.

Figura 26 – Criação de Recursos



Fonte: A autora

Mesclando geometria e tarefas: processo de vinculação

O ponto crucial do 4D é criar *links* entre as representações 3D e os dados do cronograma. Isso pode ser feito manualmente e há 5 maneiras diferentes de vincular os modelos 3D ao cronograma que pode ser usado à critério do usuário.

1. Atribuição da janela 3D via clique direito
2. Atribuição da janela 3D via arrastar e soltar
3. Atribuição usando a tecla rápida "*Ctrl + Shift + A*"
4. Atribuição da janela Recursos ou Objeto 3D via clique com o botão direito
5. Atribuição da janela de recursos através de arrastar e soltar

Mas em um modelo com uma grande quantidade de elementos seria demorado e cansativo anexar todos eles um a um. É por isso que as opções de *links* automáticos ganham relevância. Quando o processo de vinculação estiver concluído, a exibição do modelo será controlada pelo cronograma - a visualização 3D conta a história do cronograma.

Uma ferramenta muito útil para automatizar a vinculação de elementos a tarefas no *Synchro PRO* é a opção de criar regras específicas para mapear

elementos por categoria e propriedade com o uso do *Auto-Matching with User Fields* (Auto correspondência com campos do usuário).

O recurso de correspondência automática no *Synchro PRO* permite atribuir automaticamente recursos a tarefas usando filtros personalizados e regras de pesquisa. A correspondência é baseada em nomes de recursos ou campos de usuários, além de nomes de tarefas, "ID da tarefa", comentários, campos de usuários ou códigos de atividades. Usar a função Auto-Matching simplifica muito a tarefa de vincular recursos a tarefas. Dessa forma, nem é necessário criar conjuntos de seleção e o processo de vinculação é totalmente automático, graças às informações provenientes da ferramenta de *design*.

Independentemente do método de vinculação usado, quando um objeto é vinculado a uma tarefa, as informações referentes a essa tarefa são exibidas nas propriedades do elemento. Depois de atribuir recursos a tarefas, é possível reproduzir a sequência de construção na Visualização 3D, como um filme, para revisar movendo a barra de "*focus time*".

É uma boa prática verificar se todos os elementos foram adequadamente vinculados, e se for identificado alguma atribuição de um recurso à tarefa errada por engano, poderá fazer essa correção usando uma das seguintes opções de selecione os recursos e selecione "Não atribuir todos" para remover todos os recursos. Ou, caso queira remover apenas um recurso, clique com o botão direito no nível mais baixo de cada item e selecione *Unassign* e além disso, é possível selecionar o objeto na visualização 3D, clicar com o botão direito e desatribuir da tarefa atribuída.

Agora caso tenha sido atribuído um objeto usando o perfil errado, poderá alterá-lo selecionando o nível de árvore mais baixo do recurso na guia propriedades da tarefa na guia Recursos e selecionando o perfil de aparência correto na caixa suspensa.

O segredo para uma vinculação rápida e eficaz é fazer uso da opção certa individualmente, visto que os casos não são iguais. No entanto, para empresas que lidam com muitos projetos semelhantes, seria útil ter esses processos padronizados e contar com um fluxo de trabalho definido para todos eles.

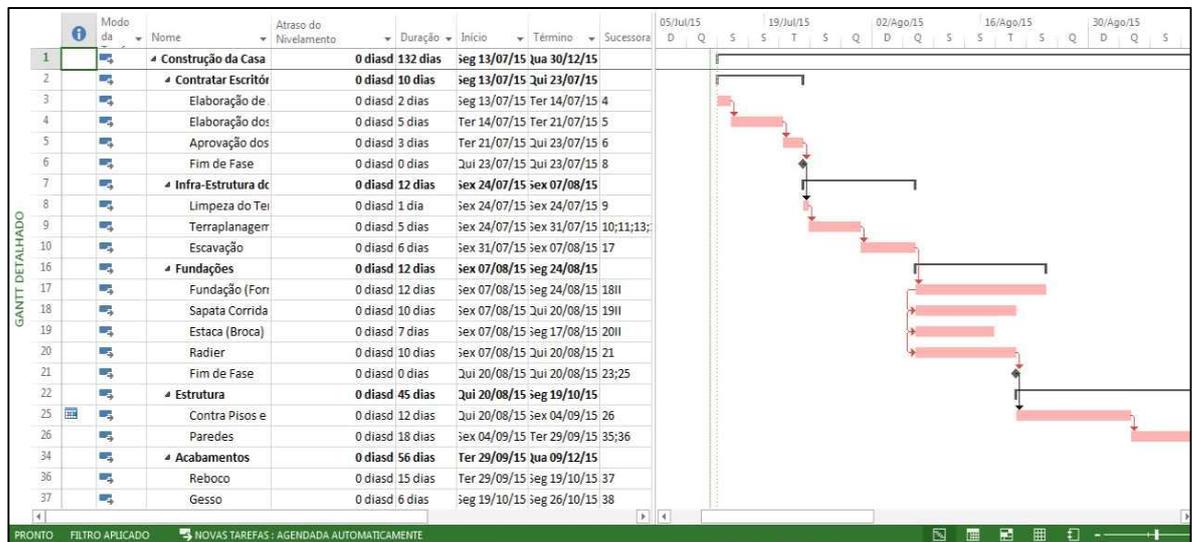
Outra opção poderosa é criar regras específicas para mapear elementos por categoria e propriedade. Isso é adequado para fazer uso de qualquer uma das

propriedades dos elementos, como "ID da tarefa". Dessa forma, nem é necessário criar conjuntos de seleção e o processo de vinculação é totalmente automático, graças às informações provenientes da ferramenta de *design*. Nesse caso, além de todas as atividades mapeadas, o anexo é indicado como uma 'Seleção Explícita' em vez de um conjunto de seleção.

Fluxos de trabalho possíveis

São descritos três métodos diferentes possíveis para inserir o cronograma no *Synchro PRO* tomando como referência o uso do *MS Project* que permite uma análise mais robusta das funcionalidades e versatilidades da combinação dos programas, apesar da presente pesquisa ter sido iniciada com um cronograma elaborado em excel, mas para entendimento dos fluxos testou-se mais de 5 estruturas de EAP no *MS Project*, conforme evidencia-se pela figura 27.

Figura 27 – Teste de conversão do cronograma Excel em *MS Project*



Fonte: A autora

- 1º fluxograma: o primeiro método consiste em criar manualmente o cronograma no *MS Project* e depois realizar separadamente todo o processo de vinculação com os conjuntos de seleção. Isso envolve reinserir todos os nomes dos conjuntos de seleção com base nas atividades e, portanto, consome bastante tempo (Figura 28).

- 2º fluxograma: no segundo método, os conjuntos de seleção são criados primeiramente no *Synchro PRO*. Usando a opção "Adicionar tarefas automaticamente" para a opção "Cada conjunto de seleção", as tarefas são geradas automaticamente no *Synchro PRO*, pois permite que se crie tarefas diretamente a partir de itens 3D. Por padrão, o *Synchro PRO* gera as tarefas na ordem em que foram selecionados os itens, vincula-se as novas tarefas e divide-se as durações da tarefa selecionada entre as novas tarefas. Depois disso, é exportado para o *MS Project* para organização e gerenciamento de tarefas adicionais, além de contar com opções mais avançadas. Finalmente, o cronograma otimizado pode ser adicionado novamente como uma fonte externa no *Synchro PRO* (Figura 29).

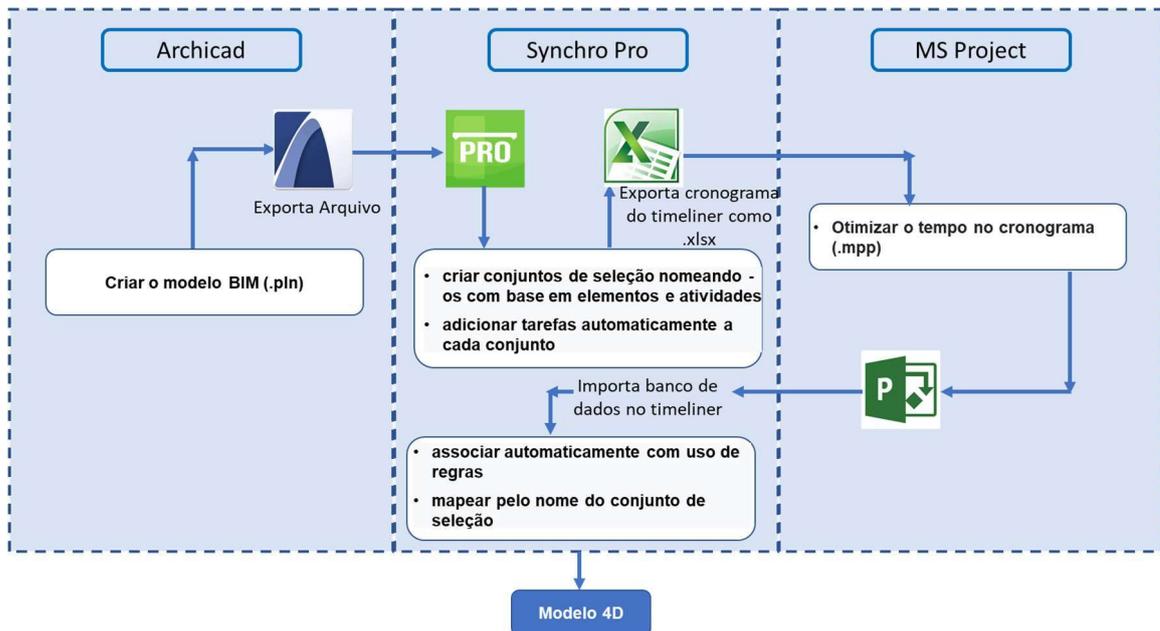
Este é provavelmente o método mais rápido entre os 3 apresentados, mas também o menos adaptado à maneira como as coisas são feitas hoje em dia. Porém do ponto de vista da construtividade, é realizar o planejamento baseado em BIM, ignorando o processo separado e distinto da criação de uma programação a partir da memória e da experiência usando o *software* de planejamento e sim, produzindo a programação diretamente do ambiente *Synchro PRO*.

Figura 28 – 1ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho



Fonte: Adaptado de Velasco (2013)

Figura 29 – 2ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho

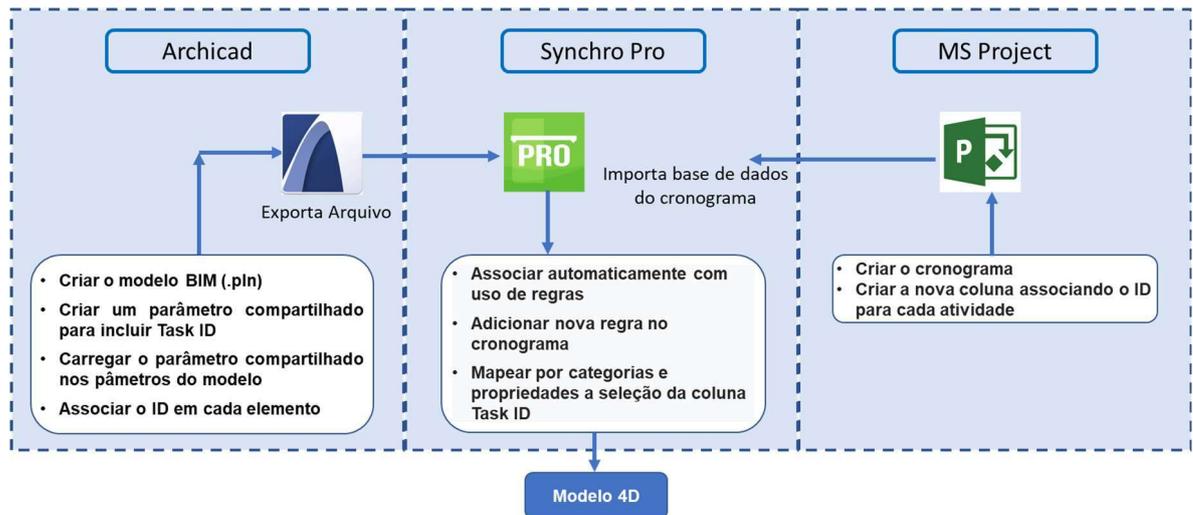


Fonte: Adaptado de Velasco (2013)

- 3º fluxograma: o último método consiste em usar um ID para cada atividade. Associar um ID a tarefas no cronograma de tempo (*MS Project*) e elementos no modelo com um identificador exclusivo de elementos e tarefas, como sua EAP e uma convenção de nomenclatura consistente reconhecida pelo *software* de modelagem e programação simplifica consideravelmente o processo de mapeamento no *Synchro PRO*.

Caso contrário, nos dois primeiros métodos mostrados, os nomes das atividades dependeriam dos nomes dos conjuntos de seleção, ou vice-versa, que não poderiam ser efetivos em muitos casos. O ID é outro campo ou parâmetro a ser adicionado *Archicad* no antecipadamente, conforme indicado anteriormente. Esse método ou fluxo de trabalho pode resultar um pouco mais demorado no início, mas uma vez no *Synchro PRO* é totalmente automático. Ao mesmo tempo, é uma maneira muito útil e organizada de classificar elementos por atividade, bem como uma maneira de estender o uso dessas ferramentas à medida que ela caminha lado a lado com a filosofia BIM (Figura 30).

Figura 30 – 3ª Possibilidade de Fluxograma de Trabalho



Fonte: Adaptado de Velasco (2013)

Na figura 30 expôs-se, que se o fluxo 3 for adotado, o campo "ID da sincronização" deve ser mapeado com a coluna "Texto 2", que é a referente ao "ID da tarefa" no *MS Project*. A regra apresentada e a propriedade "ID da tarefa" na "Árvore de seleção" podem ser vistas na figura 29. Assim que o modelo 4D estiver pronto após o uso de um dos fluxos de trabalho mencionados, o modelo estará pronto para testar suas funcionalidades como uma ferramenta de gerenciamento de projetos.

5 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS

A partir da criação da modelagem 4D elucidada no Capítulo 04, as possibilidades desta tecnologia para as funcionalidades de gerenciamento de projetos mencionadas na pesquisa da literatura são analisadas uma a uma nesta seção. Desta forma, a ideia é ter uma imagem clara do que pode ou não pode ser feito usando o fluxo de trabalho proposto, e permitir a elaboração de conclusões sobre a utilidade dessas ferramentas.

5.1 Estudo Real

Conforme relatado no delineamento da pesquisa, na parte prática foram analisados os requisitos da modelagem BIM 4D para a realização da simulação com dados reais da empresa estudada, checando o máximo possível de atributos nas condições em que realizou-se a obra.

5.1.1 Visualização dinâmica de cronograma

A visualização, com certeza, é uma das contribuições gerais mais importantes da tecnologia 4D. O *Synchro PRO* oferece várias funções para facilitar a visualização da sequência de construção, bem como o modelo em termos gerais. O ponto crucial do 4D é criar *links* entre as representações 3D e os dados do cronograma. Quando o processo de vinculação está concluído, a exibição do modelo é controlada pelo cronograma, assim a visualização 3D conta a história do cronograma.

Para visualizar o cronograma de construção é possível posicionar o "*Focus Time*" em qualquer período de atividade dentro da *timeline*. Em consequência, o progresso do trabalho planejado pode ser visualizado em qualquer período contido no cronograma, desde que os objetos estejam devidamente associados às atividades. As atividades que estão sendo concluídas naquele exato momento são realçadas e exibidas em uma cor diferente. Visualização de cronograma e simulações estão intimamente relacionadas, apesar de abordarmos aqui de forma isolada para permitir uma análise ampla dos atributos.

Na guia "Configurar", é possível controlar as configurações de visualização de acordo com as necessidades específicas do usuário. Essas configurações são úteis para esquemas de cores e aplicação de transparências aos componentes, um exemplo pode ser visto na Figura 31. O monitoramento de tempo é uma função que pode ser beneficiada por eles, como será mostrado no item 5.2.2. Assim, a maneira pela qual os elementos do modelo são exibidos na simulação da sequência de construção pode ser facilmente manipulada.

O uso de filtros e agrupamentos permitem maior agilidade e clareza para exibição dos resultados. Os filtros 3D podem ajudar com o processo de seleção de recursos 3D, limitando os objetos visíveis na janela 3D. O filtro mais comumente usado costuma ser incorporado *3D Object Filter*. Os usuários também podem criar seus próprios filtros personalizados.

Figura 31 – Visualização de filtro do 14º andar exportado com cores e transparência

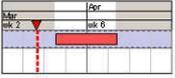
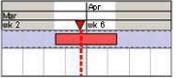
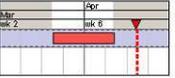
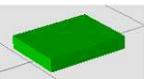
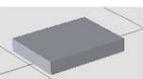
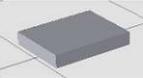
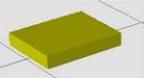
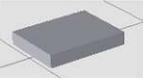
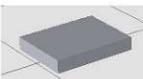
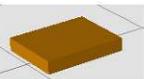
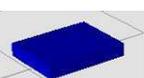


Fonte: A autora

O painel filtros ativos permite que o usuário aplique vários filtros a cada janela 3D combinada com a operação *AND* ou *OR*. Cada filtro pode ter um esquema de cores diferente. A ordem dos filtros na lista Filtros ativos controla quais esquemas de cores têm precedência. O perfil de Aparência selecionado ao atribuir um recurso a uma tarefa determina como o recurso deve se comportar antes,

durante e depois da Tarefa. Na figura 32 verifica-se um resumo de perfis pré-definidos que podem ser utilizados. Nesta etapa da pesquisa usou-se basicamente o perfil *install*, por se tratar de elementos de construção que não existiam e que continuariam a ser exibidos após concluídos.

Figura 32 – Tipos de Perfis de Aparência

PROFILE	FOCUS TIME		
	 Before Task	 During Task	 After Task
INSTALL	 Start Appearance	 Active Appearance	 End Appearance
MAINTAIN	 Start Appearance	 Active Appearance	 End Appearance
REMOVE	 Start Appearance	 Active Appearance	 End Appearance
TEMPORARY	 Start Appearance	 Active Appearance	 End Appearance

Fonte: Adaptado de *Synchro* (2018)

O modelo pode ser revisado de todos os pontos e os "pontos de vista" podem ser salvos para uso futuro. É possível inserir comentários e observações que podem permanecer ou não durante a exibição. Além disso, essas funções estão disponíveis para qualquer etapa da construção, o que significa que o modelo 4D pode ser analisado a partir de qualquer posição e em qualquer dia contido no período de programação de tempo. É importante estar ciente do fato de que isso pode ajudar a detectar erros de *design*, além de reduzir a incerteza.

5.1.2 Simulações 4D – Cenário *what-if*

O *Synchro PRO* permite simular o processo de construção do modelo BIM importado do *Archicad*. A saída consiste de um clipe ou vários instantâneos do prédio para antecipar visualmente o estado do progresso da construção durante o período planejado. Também ajuda a prever possíveis condições que provavelmente serão enfrentadas durante a construção para reduzir a incerteza antes ou mesmo durante a fase de construção. Além disso, serve como ferramenta de comunicação para coordenar os trabalhos dentro do canteiro.

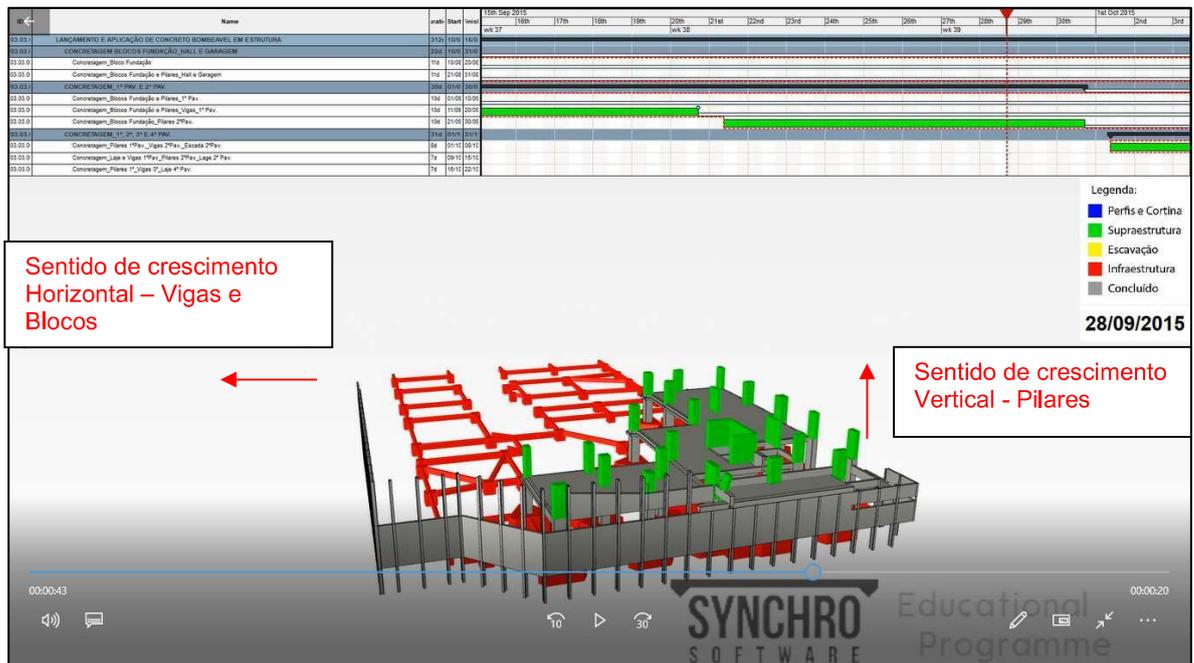
A simulação pode ser livremente navegada para trás e para frente e pode ser pausada ou até mesmo ajustada para uma data específica na programação. O período de simulação pode ser limitado por datas, se desejado, bem como a duração total definida em segundos ou minutos. Além disso, a simulação pode ser vista de diferentes ângulos e pontos de vista e é possível orbitar e aproximar e afastar a vista enquanto a sequência está sendo exibida. Essas opções facilitam a visualização de possíveis partes críticas do modelo em um determinado momento no tempo.

As simulações fundamentam as demais funções de gerenciamento de projetos, visto que elas são a ferramenta a ser usada toda vez que algo precisa ser analisado, esclarecido ou discutido. Apresenta-se na Figura 33 o estado planejado do edifício em 28/09/2015. Como pode ser visto, o edifício estaria nesta data específica com a cortina e perfis metálicos executados, bloco de fundação e pilares de hall e garagem concluídos, concretagem de infraestrutura com blocos e cintas avançados e iniciados a concretagem de supraestrutura de pilares do 2º andar.

É importante mencionar que uma entrega baseada em papel do presente trabalho não facilita a previsão da simulação 4D. Porém, as imagens instantâneas de tela são a única maneira de mostrá-los em um relatório escrito, embora o potencial total dessa ferramenta não seja tangível.

Foram realizadas diversas simulações principalmente para verificar a simulação de crescimento (sentido) aplicada aos recursos, pois os recursos podem parecer crescer incrementalmente na direção especificada (ou encolher, no caso de Perfis de Aparência com a ação “Remover” selecionada) ao longo da tarefa. As simulações podem ser usadas para indicar rápida e facilmente a direção da construção. Essa direção deve ter a lógica construtiva analisada em função da distribuição de maquinário e mão de obra.

Figura 33 – Simulação do *Focus Time* mostrando um estágio intermediário da sequência de construção na data de 28/09/2015



Fonte: A autora

É possível mostrar vários objetos crescendo em grupo usando um perfil de aparência de simulação de crescimento, ao invés de crescer individualmente, na Figura 33 os pilares são indicados na cor verde estão agrupados com perfil único, sendo concretados de baixo para cima durante uma única tarefa. Se tivesse sido atribuído cada bloco à tarefa usando um perfil de aparência de recurso com uma simulação de crescimento *bottom-up*, cada um deles cresceria individualmente, o que não é o resultado desejado.

Agrupar objetos para crescimento permite mostrar a progressão geral da construção de vários objetos sem precisar criar uma tarefa para cada um. Deve-se agrupar todos os blocos de pilha em um Recurso antes de atribuir a tarefa. Esse recurso utilizado, fundamentalmente, deu-se pela limitação do *Synchro PRO* acadêmico de quantidade de tarefas permitidas.

5.1.3 Detecção de conflitos espaço-tempo

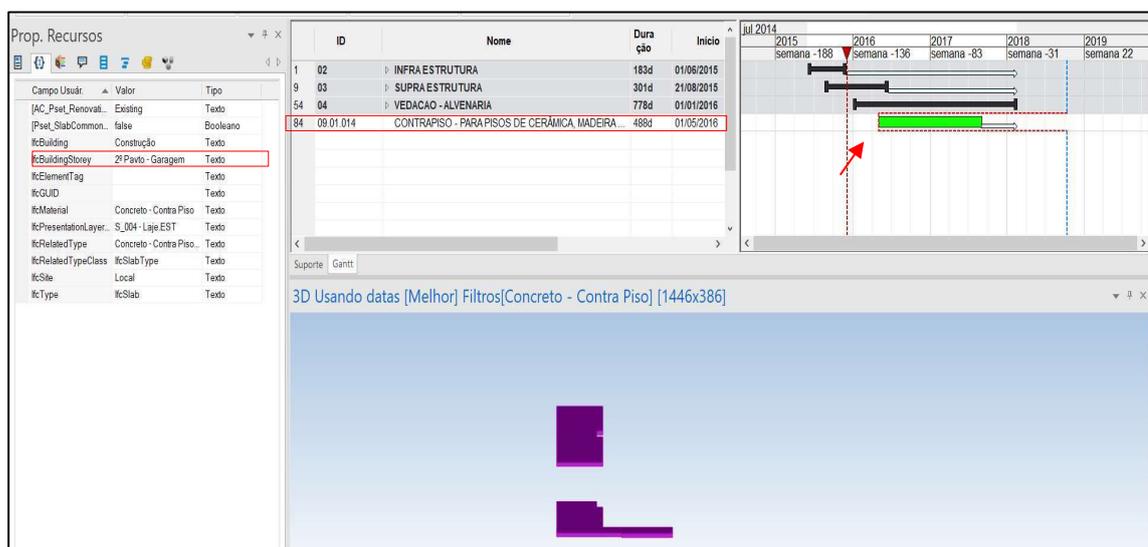
Durante o processo de associar os objetos às tarefas tem-se uma grande oportunidade de identificar possíveis conflitos de tempo-espaco que seriam percebidos durante a execução de obras de construção. O simples fato de um

segundo profissional estar analisando os objetos por agrupamentos com outro olhar além de quem esteja projetando introduz o aumento de probabilidade de detecção de conflitos, mas essa análise é humana e se dá pelo senso crítico bem como a observação de quem o faz. Não há regras automatizadas que impeçam a ligação e ou exibição inadequada do conflito.

Ao desenvolver a presente pesquisa durante as primeiras simulações, importou-se os arquivos.ifc modelados em 3D e foram detectados diversos conflitos da modelagem, que se por ventura, efetivamente fossem para campo ocasionariam improdutividades por gerar discussões para entendimento e/ou perdas financeiras por retrabalho.

Foram detectados diversos conflitos com o elemento do contrapiso, tendo sido modelado em duplicidade em alguns níveis e também em duplicidade em alguns pontos, o que fez aumentar a lista de quantidade de materiais. Permitiu-se a detecção desta falha na modelagem BIM 4D. Na Figura 34 evidencia-se objetos do contrapiso do 2º pavimento que estavam aparecendo antes do início da tarefa, mesmo tendo seus recursos associados, com isso detectou-se a duplicidade dos elementos do contrapiso do 2º pavimento da garagem.

Figura 34 – Detecção de conflito do contrapiso sendo exibido antes da tarefa



Fonte: A autora

Fica evidenciado que o modelo 4D permite aos usuários visualizar as informações temporais, espaciais e lógicas por meio de um único meio na tela.

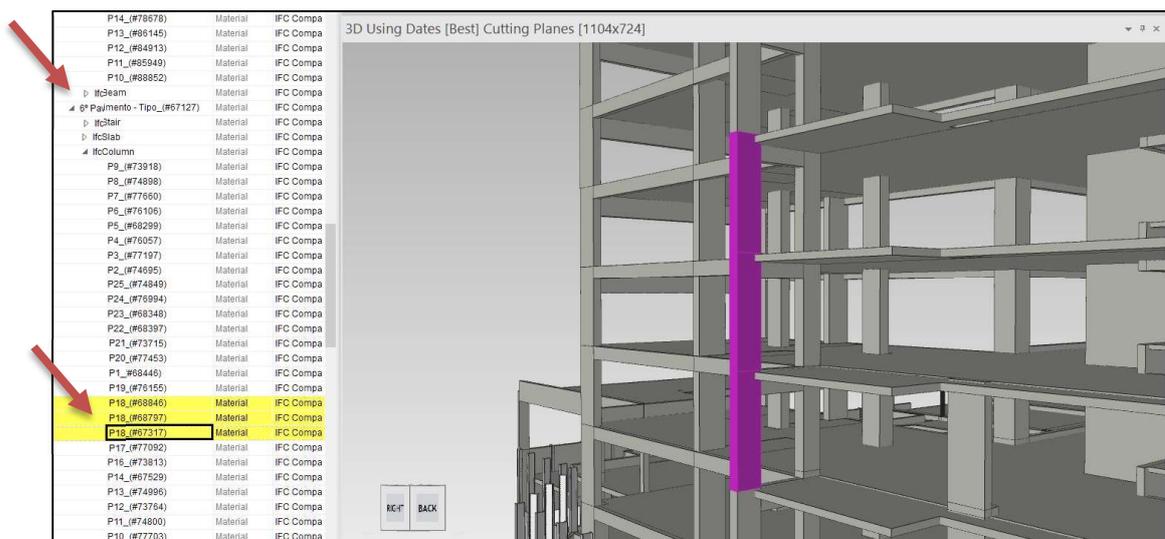
5.1.4 Integração e comunicação dos participantes do projeto

O foco e o propósito do planejamento e programação com o uso da tecnologia 4D é enriquecer o processo de planejamento para obter melhor comunicação dos interessados e para a criação de uma abordagem de entrega robusta que possa ser entendida, validada e implementada de forma confiável pela equipe de projeto.

A exibição dos vídeos de simulações exportadas das tecnologias 4D nas reuniões do projeto, assim como a emissão de relatórios de inconsistências que foram identificados e enviados à equipe que estava sendo treinada na modelagem para ciência e devida alteração do modelo 3D, permitiram um meio favorável para colaboração. A comunicação eficaz entre as diferentes disciplinas é vital e faz com que os planejadores se sintam mais engajados e possam participar rapidamente da discussão com os projetistas, assim como os executores com os planejadores e projetistas.

A Figura 35 compõe um dos itens do relatório de comunicação de inconsistência apontando para a possível repetição do bloco da fração do pilar 18 equivalente no 6º pavimento, que acabou sendo identificado como duplicado realmente.

Figura 35 – Exemplo de Relatório de Comunicação de Inconsistências



Fonte: A autora

5.1.5 Re-planejamento

Como mencionado nos subitens anteriores é comum detectar erros de projeto enquanto um modelo 4D está sendo revisado e o ideal é corrigí-los imediatamente. Quando uma revisão de projeto é feita fora do *Synchro*, é possível modificar os Modelos 3D e ainda reter os *links* atribuídos entre as tarefas do planejamento e os objetos do modelo. Isso é chamado de sincronização. É possível sincronizar a partir de um arquivo de modelo 3D atualizado, verificar novos objetos e atribuí-los a tarefas após a Sincronização.

A importação inicial do arquivo de programação é direta. Em atualizações subsequentes do cronograma, utiliza-se o recurso sincronização para atualização do arquivo mestre atualizado sem a necessidade de vincular novamente quaisquer recursos atribuídos anteriormente. Neste momento, são analisados por meio do exemplo de alguns erros que foram identificados, inclusive o contrapiso citado no item 5.1.3., os recursos para a análise das mudanças no modelo 3D.

Não foram realizadas alterações na plataforma 4D, apesar de serem possíveis no *Synchro*, desta forma torna-se obrigatório voltar para a plataforma de *design* para fazer as alterações necessárias. A fim de manter os *links* previamente estabelecidos entre o modelo atual e o cronograma do projeto dentro do *Synchro* ao sincronizar o arquivo de modelo atualizado com o projeto *Synchro* atual, o modelo atualizado precisa estar preparado para acomodar as revisões de projeto.

Para obtenção de melhores resultados é importante seguir algumas diretrizes:

1. Ao Exportar - Todos os objetos que originalmente são importados para o *Synchro* precisam ser exportados do sistema *ARCHICAD* novamente. Todos os objetos excluídos no arquivo *ARCHICAD* atualizado são excluídos em Sincronização após a sincronização.

2. Ao Importar - Todos os novos objetos são importados para o *Synchro* quando forem sincronizados, mas antes eles precisarão ser atribuídos a tarefas.

3. Todos os dados 3D modificados precisam ter o mesmo nome e número de ID exclusivo global (GUID -*Global ID* exclusivo) para que o *Synchro* o reconheça como o mesmo item e mantenha sua atribuição. Os GUIDs são criados automaticamente pelo sistema de criação do CAD. Caso um objeto seja subdividido

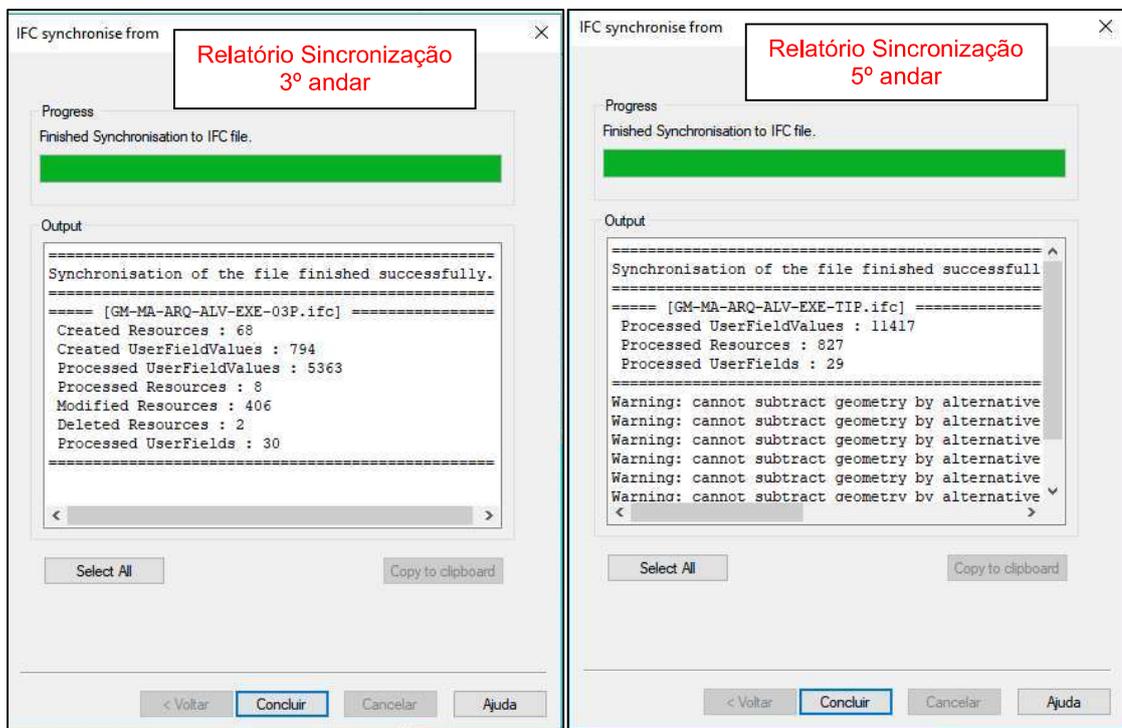
no *Synchro*, essas subdivisões permanecem enquanto o ID do objeto no arquivo CAD não estiver alterado.

4. Nome do Arquivo - Exporta-se os arquivos atualizados do programa *ARCHICAD* com qualquer nome de arquivo, os modelos originais e revisados não precisam ter os mesmos nomes de arquivos para Sincronização.

Nos itens anteriores foram apontados alguns erros que precisaram ser remodelados no *Archicad*. Desta forma, modelo 3D teve as alterações salvas e, em seguida, a sincronização realizada no *Synchro PRO*. Após a Sincronização, um relatório é exibido resumindo as alterações feitas. Na figura 36 resume-se a sincronização realizada do 3º e 4º pavimento, com os objetos criados e quantidade de objetos 3D excluídos. Observa-se que quando um objeto 3D é excluído após a sincronização, o objeto é removido da tarefa à qual havia sido atribuído.

Ressalta-se que foram emitidos 21 relatórios semelhantes aos exibidos na Figura 36, visto que os arquivos foram exportados .ifc por andar para reduzir o tamanho do arquivo e para facilitar o manuseio e entendimento da modelagem realizada.

Figura 36 – Relatórios emitidos após a sincronização do 3º e 5º pavimento

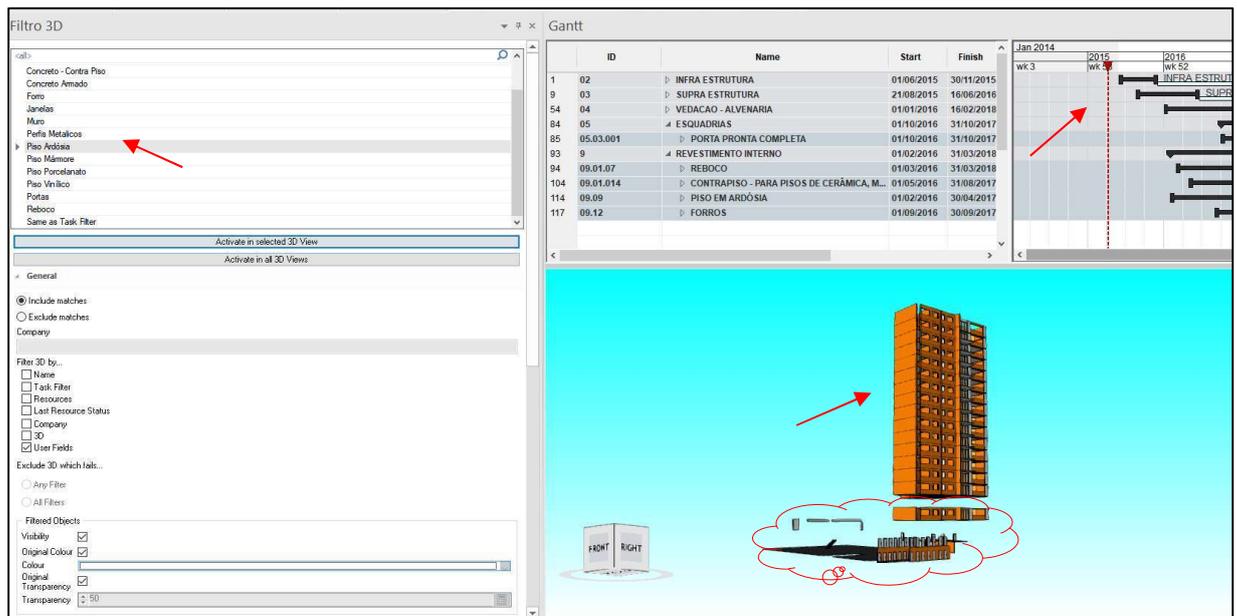


Fonte: A autora

Todos os objetos 3D que foram adicionados durante a Sincronização não são atribuídos automaticamente às tarefas. A maneira mais fácil de localizar esses objetos é ir para o início do projeto antes que qualquer objeto seja associado, conforme Figura 37 em que é mostrado todos os elementos que precisaram ser associados às tarefas, visto que sofreram alteração no *Archicad*, inclusive o contrapiso do 1º pavimento que estava em duplicidade.

Após a sincronização os objetos 3D ficaram flutuando no ar. Esses objetos 3D foram adicionados durante a sincronização e ainda não foram atribuídos a tarefas. O fato de perder os vínculos às tarefas dos objetos facilita a identificação dos mesmos, especialmente em grandes escalas conforme o exemplo do projeto. Os filtros previamente editados continuam ativos.

Figura 37 – Objetos que perderam a vinculação do recurso à tarefa após a sincronização

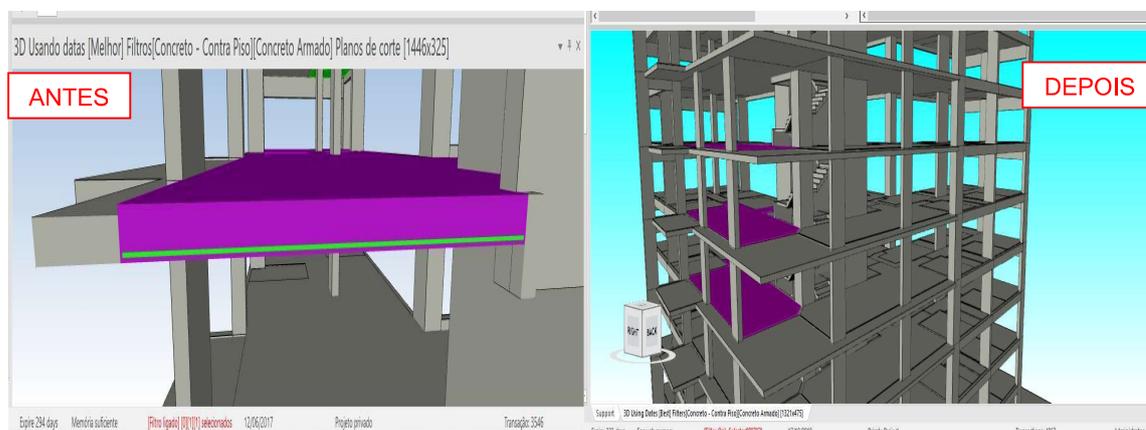


Fonte: A autora

Adaptações no cronograma e no modelo são continuamente necessárias e as ferramentas 4D BIM precisam atender a essas necessidades. Na Figura 38 apresenta-se o contrapiso no nível equivocado, pois estava ficando embaixo da laje (imagem em verde), roxo é a laje e após a sincronização encontra-se posicionado corretamente. O processo de introduzir mudanças pode parecer complicado e demorado, mas é facilmente sistematizado, desde que o processo seja explícito e

tenha-se o entendimento de que são plataformas diferentes empregadas. É muito importante ter clareza como alternar entre ambas.

Figura 38 – Reposicionamento do nível do contrapiso após sincronização



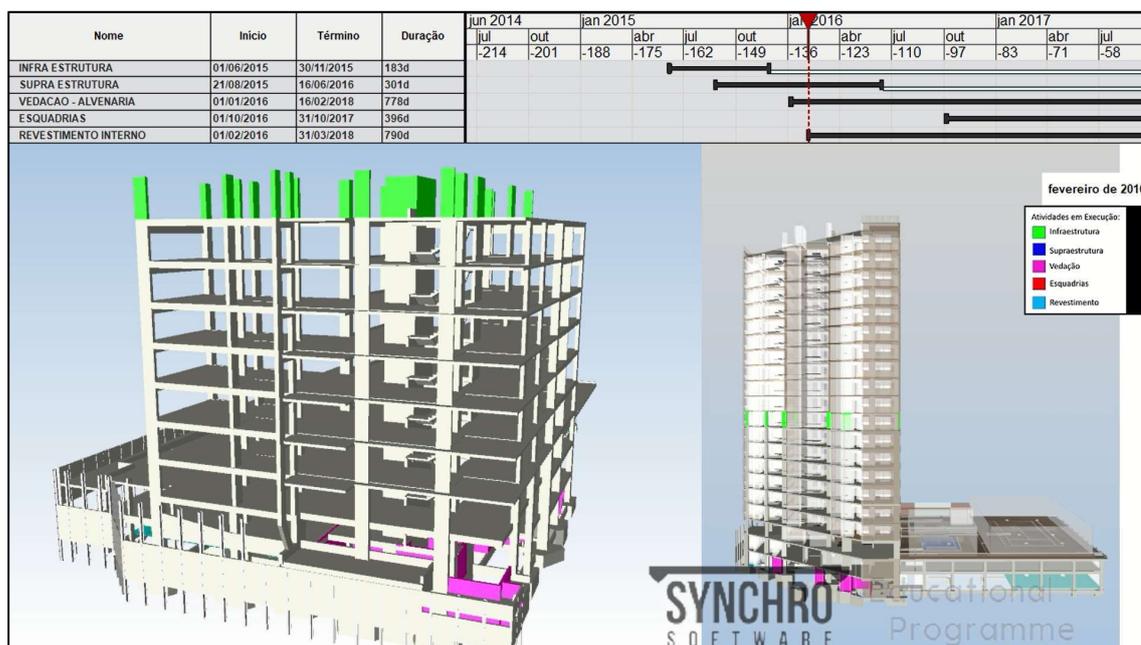
Fonte: A autora

5.1.6 Tomada de decisão

Ao apresentar o material da modelagem BIM 4D, relatou-se pela gerência e pelos engenheiros que estavam sendo treinados em reuniões de acompanhamento em um contexto do uso da ferramenta 4D, que as informações seriam recebidas e integradas com fornecedores e/ou subcontratados e/ou equipe própria e que os dados relevantes de desempenho do local de trabalho (por exemplo, material recebido atrasado ou danificado) seriam discutidos pautados nas apresentações 4D.

Nenhuma decisão de cunho futuro seria possível no presente estudo visto que as decisões haviam sido todas tomadas previamente por se tratar de um edifício concluído. Porém ao apresentar as alternativas de visualização, percebeu-se que a janela com exibição de corte ampliou o entendimento da discussão. Essa análise pode ser considerada uma decisão tomada de cunho gerencial para os formatos de exibição de vídeos e imagens, conforme na Figura 39 é ampliado o entendimento e nivelamento da equipe.

Figura 39 – Tela com Exibição simultânea do Corte e Vista Completa



Fonte: A autora

5.1.7 Integração entre o projeto e o cronograma

O BIM permite a extração de quantitativos diretamente dos elementos construídos no modelo, possibilitando sua atualização constante à medida que o projeto evolui. Alguns *softwares* externos de verificação e coordenação, como o Solibri e o *Synchro*, também podem gerar quantitativos e são aptos a trabalhar com certos formatos de arquivo proprietários ou com arquivos IFC.

Por serem mais complexos, oferecem maior controle sobre a informação gerada e são capazes de processar todos os objetos modelados e reconhecer parâmetros, possibilitando melhor organização. É possível, em alguns casos, atribuir classificação diretamente por eles, dispensando a necessidade de classificar dentro do modelo. É importante certificar, em caso de exportação em IFC, que todos os parâmetros necessários tenham sido incluídos e que este modelo não apresente erros de geometria, gerando distorções no quantitativo.

Os quantitativos devem ser organizados, devendo ser levantados considerando-se a organização das tabelas necessárias para o planejamento e controle da obra, bem como o método a ser utilizado neste controle.

Foram checadas as quantidades da estrutura sem um manual explícito de indicação e chegou-se à uma diferença de 0,86% entre dois usuários *Synchro* e de 3,4% entre as quantidades do *Synchro* e o *Solibri*, valor alcançado após algumas rodadas de ajustes em haviam sido detectados conflitos e duplicidades de objetos previamente.

Tabela 02– Comparativo da checagem de quantidades da estrutura pelo *Solibri* e *Synchro*

Estrutura	Volume (m ³) Calculado <i>Solibri</i>	Volume (m ³) Calculado <i>Synchro</i> - 1	Volume (m ³) Calculado <i>Synchro</i> - 2
1º Pavto - Hall e garagem	1021,65	989,21	1029,45
2º Pavto - Garagem	568,09	550,59	549,67
3º Pavto - Pilotis	533,14	536,24	536,28
4º Pavimento - Tipo	234,01	223,2	223,24
5º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
6º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
7º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
8º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
9º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
10º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
11º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
12º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
13º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
14º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
15º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
16º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
17º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
18º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
19º Pavimento - Tipo	153,68	142,95	142,99
20º Pavimento - Cobertura	173,49	178,11	180,07
21º Pavimento - Cobertura	149,92	150,42	150,43
Laje Cobertura	77,38	77,38	77,38
Total Geral	5062,88	4849,40	4891,31

Fonte: A autora

Os levantamentos a partir do modelo BIM tiveram por pressuposto que este modelo atendia a condições básicas:

a) Todos os elementos, bem como componentes e equipamentos que estruturam o modelo estavam corretamente classificados e de acordo com o sistema de classificação adotado no empreendimento;

b) Todos os elementos, componentes e equipamentos que formaram o modelo estão especificados de acordo com as regras definidas para o empreendimento, inclusive quanto aos parâmetros que devem ser incluídos nos componentes BIM;

c) A modelagem deste conjunto está consistente e sem conflitos. Se estas premissas não estiverem satisfatoriamente atendidas, o levantamento pode apresentar falhas, seja por desconsiderar algum elemento ou componente, seja por resultar em dupla contagem de algum deles. Assim sendo, a primeira atividade, antes mesmo de qualquer levantamento, é efetuar uma verificação de qualidade do modelo BIM, com um aplicativo (*model checker*) capaz de indicar conflitos e falhas de junções, desta forma optou-se pelo Solibri.

A extração de uma listagem inicial de componentes permitiu verificar se os parâmetros adequados foram contemplados e se todos foram devidamente classificados.

5.2 Estudo Empírico

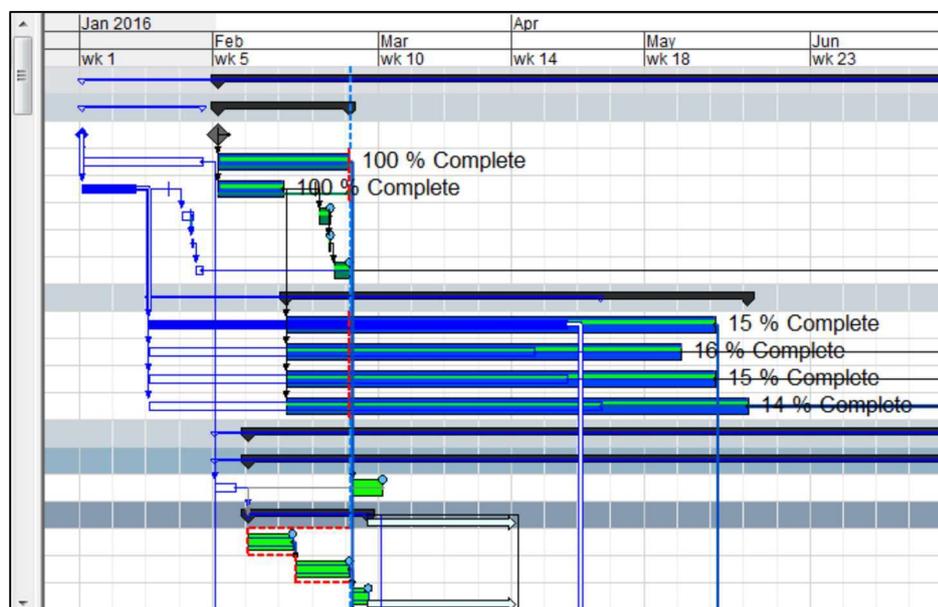
Para permitir a análise completa dos impactos dos requisitos em uma maior amplitude de atributos tem-se esse segundo momento com a análise de um estudo empírico para permitir o levantamento e análise dos demais requisitos que podem impactar a modelagem BIM 4D com os demais atributos.

5.2.1 Monitoramento do Tempo

O planejamento é desenvolvido no intuito de ser cumprido na realidade, uma das maneiras de influenciar as áreas envolvidas é ter controle sobre as atividades a qualquer momento, para saber se os prazos que foram estabelecidos estão sendo cumpridos ou não. Em certas situações, o que está planejado é diferente do estado real do trabalho durante o cronograma planejado. Assim, as datas de início e término de cada uma das tarefas podem ser adiadas ou antecipadas.

Uma visão geral é fornecida no que diz respeito à comparação entre o status planejado e o real de cada tarefa, grupo de tarefas ou todo o projeto por meio dos relacionamentos e o status das tarefas pela representação de um conjunto de símbolos na *timeline* do *Synchro*, conforme ilustrado na Figura 40. Na programação atual, as tarefas do caminho crítico foram destacadas em vermelho, enquanto as tarefas que não estão no caminho crítico foram marcadas em azul com preenchimento sólido.

Figura 40 – Monitoramento do Tempo dentro da *Timeline* no *Synchro*



Fonte: Estudo empírico da autora

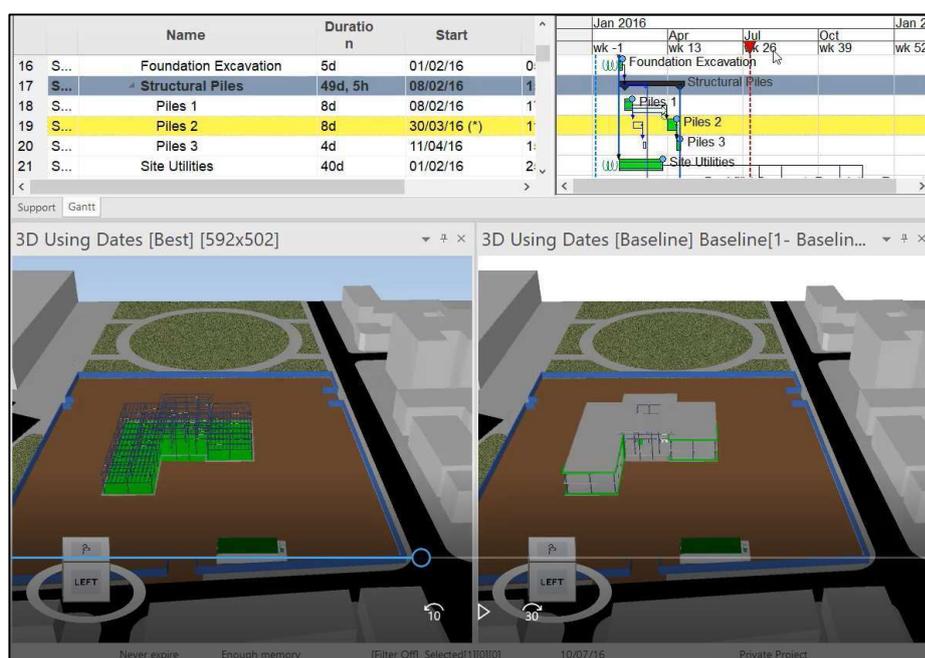
Uma linha de base sempre deve ser usada para comparar o planejado com o real no *Synchro*. A linha de base salva as datas e as durações de todas as tarefas selecionadas. A linha de base está diretamente relacionada sobre o cronograma atual e também com possíveis simulações. As tarefas verdes sólidas indicam àquelas realizadas enquanto, as azuis, porém vazias, indicam àquelas reprogramadas.

Isso, porém, é o que se pode esperar de qualquer *software* de planejamento tradicional. Para visualizar o que pode estar errado é dar uma primeira olhada no diagrama, mas não ajuda muito por si só em termos de visualização. No *Synchro*, se alguma das tarefas sofrer uma variação nas datas de

início ou término, ela também poderá ser representada de maneira visual. Portanto, pode-se ver como cada mudança afeta o desenvolvimento de todo o projeto.

De fato, é possível comparar o estado planejado *versus* o real das tarefas, para ver quais atividades estão atrasadas ou adiantadas, tanto no espaço quanto no tempo, por meio da simulação em 4D. Além de observar as alterações na linha de base no Gráfico de Gantt, é possível comparar visualmente a linha de base com a programação atualizada nas janelas 3D lado a lado. Existem várias opções de visualização com relação à simulação de agendamento. Cada janela 3D aberta, conforme Figura 41, pode ser configurada independentemente para usar as datas Melhor, Real, Planejada, Proposta, Linha de base ou Original. Isso permite a comparação de diferentes linhas de base, linha de base x planejada, linha de base x real, real x planejado etc.

Figura 41 – Combinação da Janela 3D e da *Timeline* para Monitoramento da Linha de Base x Cenário



Fonte: Estudo empírico da autora

Uma das possibilidades do *Synchro* é a capacidade de trazer atualizações de um programa de agendamento externo e ver essas mudanças refletidas no modelo 4D. Se alterações ou atualizações de progresso foram feitas na programação de origem original, no P6 ou no *Microsoft Project*, as atualizações podem ser trazidas para o *Synchro* usando o comando Sincronizar na guia

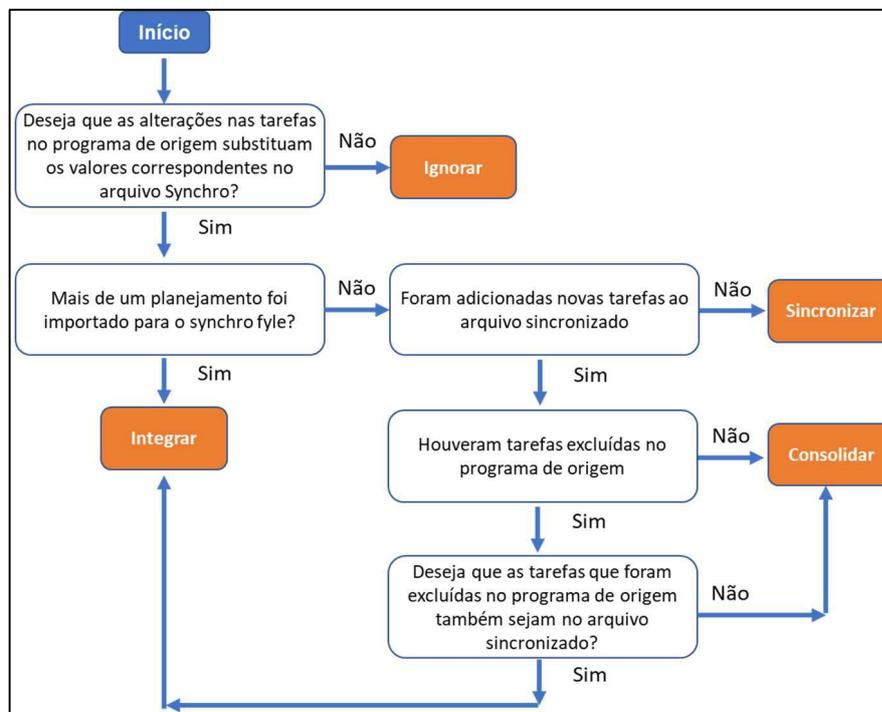
Navegador. Esse processo é semelhante à sincronização de um arquivo de modelo 3D atualizado.

Antes de sincronizar a partir da programação atualizada, uma linha de base (ou cópia) da programação atual deve ser feita no *Synchro*. Após criar uma linha de base, ela pode ser exibida no gráfico de Gantt em uma cor separada. Além disso, as datas de início da linha de base e término da linha de base podem ser exibidas na lista de tarefas.

Ao sincronizar um agendamento, será solicitado escolher dentre as opções Sincronizar, Consolidar, Integrar ou Ignorar, para cada um dos diferentes atributos de agendamento. Os atributos de agendamento incluem: Tarefas, *Links*, Restrições de tarefas, Custos, Calendários, Recursos, Atribuições de recursos, Atribuições de códigos, Campos do usuário e Valores do campo do usuário.

O fluxograma apresentado na Figura 42 deve ser seguido para determinar se deve ignorar, sincronizar, consolidar ou integrar cada atributo. Qualquer atributo que for adicionado ou modificado no *Synchro* desde a importação precisará ser considerado.

Figura 42 – Fluxograma da sincronização entre as importações de arquivos de planejamentos



Fonte: Adaptado de *Synchro* (2018)

Por exemplo, se não for criada tarefas, calendários, etc. no *Synchro*, mas acabou-se criando recursos e atribuições de recursos, essas são as duas únicas opções necessárias para consolidar ou integrar, em vez de sincronizar, para garantir que a sincronização funcione corretamente e que todas as atribuições sejam mantidas.

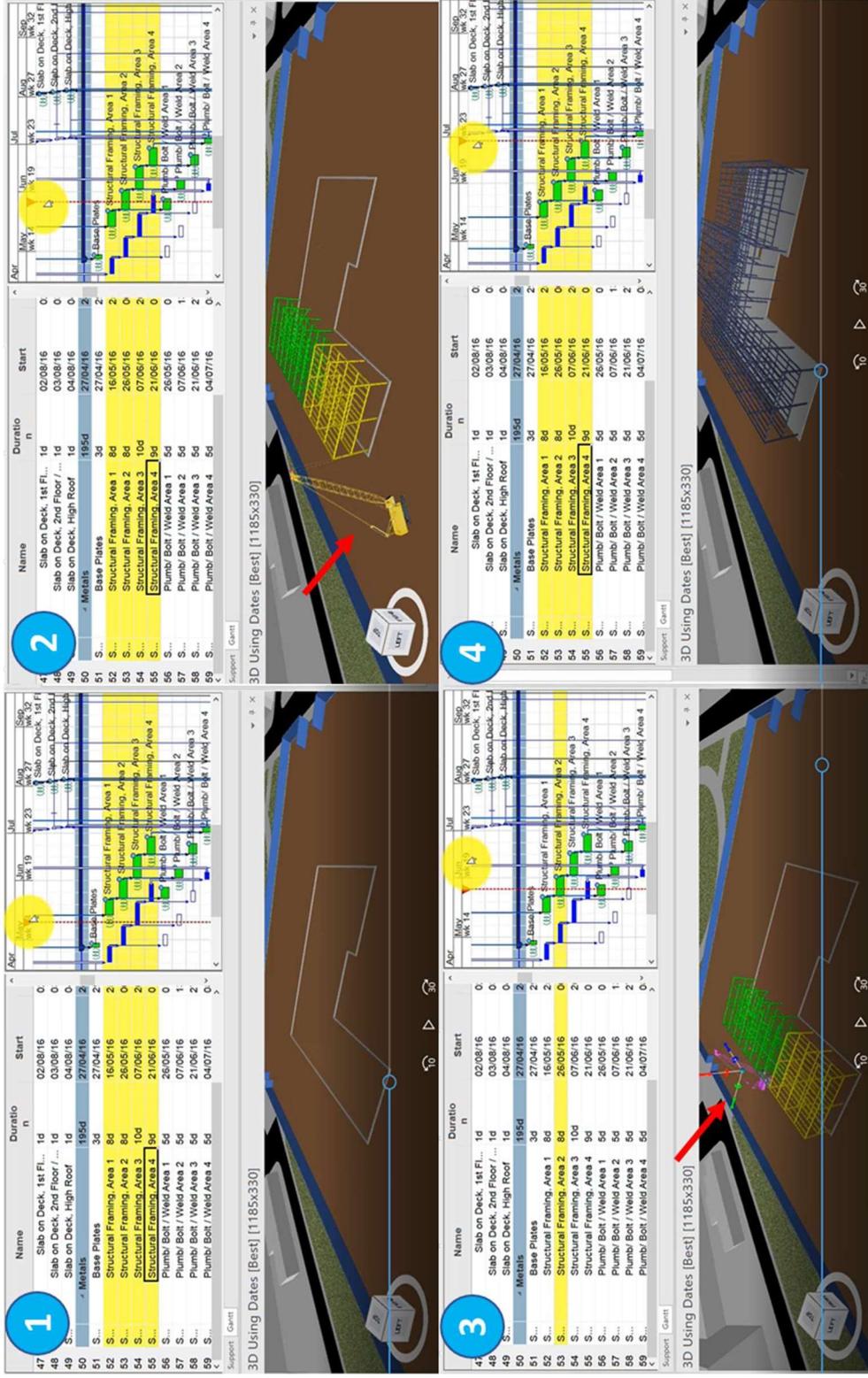
5.2.2 Construtibilidade e Logística de canteiro

Elementos temporários, como formas, andaimes e equipamentos de montagem, entre outros, muitas vezes não são inseridos no modelo porém compõem recursos a serem adquiridos e/ou alugados que consomem tempo e interferem no sequenciamento lógico das atividades e devem ser considerados em alguma etapa complementar. Ou seja, nem todos os serviços de uma obra costumam estar representados no modelo BIM.

O espaço ocupado por esses elementos temporários deve ser levado em consideração no planejamento da logística do local, melhorando a construtibilidade, visualizando a alocação de espaço daquele elemento ao longo do tempo conforme verifica-se na Figura 43, em que o guindaste é posicionado para apoiar a montagem em posições distintas e com o avançar no tempo ele percorre seu real traçado e depois “some”, visto que não compõe a construção permanente.

Equipamentos como caminhões, guindastes, entre outros podem ser importados, animados e, assim, o canteiro de obras e seu dinamismo podem ser melhor representados, pois há simulação do movimento deles através e ao redor do local. Esses tipos de elementos são anexados às tarefas como se fossem objetos de modelo normais, mas classificá-los em tipo de tarefa "Temporário", em vez de "Construir". Além destes elementos temporários, existem serviços e elementos que devem ser considerados no planejamento, mas não necessariamente estarão representados no modelo BIM, tais como uma rampa de acesso, ligação provisória de energia ou procedimentos administrativos em geral. Apesar disto, eles devem constar no planejamento.

Figura 43 – Simulação do caminhamento do guindaste com elemento temporário



Fonte: Estudo empírico da autora do Synchro (2018)

Alguns arquivos de modelo de equipamentos padrão são disponibilizados em uma biblioteca no *software* em que é possível realizar o download gratuitamente. Os modelos de equipamento disponíveis foram otimizados para uso na própria ferramenta, mas pode-se importar os próprios modelos, caso seja importante. Por ventura, para aqueles que não estejam modelados, pode-se desenvolver uma modelagem destes elementos em separado e eles serão inseridos em arquivo próprio, conjugado com os demais arquivos BIM que compõem o arquivo federado.

5.2.3 Gerenciamento de saúde e segurança

A logística, elementos temporários, os aspectos físicos associados à geometria da construção com o tempo permitem uma maior simulação do real espaço de trabalho. Essa análise permite identificar maiores implicações de riscos de segurança embora não exista a detecção de riscos automática dentro da ferramenta em questão, torna-se um uso passivo e não um uso ativo do 4D BIM. Porém, o julgamento prévio de especialistas que visualizarem as sequências permite usufruir do benefício das melhorias construtivas de forma antecipada.

5.2.4 Gerenciamento desde à concepção à operação

À medida que o projeto avança, o *Synchro* permite comunicar a equipe de gerenciamento, engenharia e projeto, potenciais ou reais problemas que foram identificados no modelo ou no cronograma a partir de emissões de relatórios em pdf, exportação de vídeos em avi. Uma animação pode ser preparada para apoiar a narrativa do cronograma. O gráfico de Gantt pode ser impresso a partir do *Synchro* para compartilhar com outras pessoas sem a necessidade de compartilhar o arquivo SP, assim como permite-se exportar visualização 3D do projeto como um PDF 3D. Ressalta-se, porém, que tratarão de imagens instantâneas e entregas em baseadas em papel ou relatório em pdf que não facilitam a previsão da simulação 4D como os vídeos. Porém, as imagens instantâneas de tela são a única maneira de mostrá-los em um relatório escrito, embora o potencial total dessa ferramenta não seja tangível.

5.2.5 Alocação de recursos

O carregamento e visualização de recursos não são um conceito novo no gerenciamento de projetos. No entanto ao fazê-lo em 4D permite que os planejadores alavanquem e combinem dados de modelos e cronogramas, bem como visualizem em que parte do espaço físico estarão os picos de utilização de recursos. No *Synchro* é possível gerar gráficos de análise de recursos e permitir o nivelamento de recursos.

6 RESULTADOS

Neste presente capítulo foram apresentados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da metodologia relatada previamente, a extensão em que os atributos teóricos foram cumpridos, bem como a listagem dos requisitos necessários associados e as oportunidades e limitações encontradas durante o processo de avaliação aplicação do BIM 4D.

6.1 Discussão dos Resultados

A partir da pesquisa teórica verificou-se a amplitude de atributos possíveis atribuídos à modelagem BIM 4D tanto no que diz respeito às suas capacidades como ferramenta 4D BIM quanto à sua validade para as funcionalidades de gerenciamento de projetos, no Quadro 12 é apresentada a consolidação dos respectivos atributos que foram utilizados durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa com o detalhamento dos mesmos.

Quadro 14 – Análise dos Atributos da Modelagem BIM 4D da Pesquisa

Atributos testados na modelagem 4D			
	Atributos	Validade	Observação
Visualização	Visualização Dinâmica do Cronograma	✓	O cronograma importado do MS Project e o modelo.ifc puderam ser visualizados.
Integração	Integração e comunicação dos participantes do projeto	✓	Realizada reunião com construtora para apresentação e discussão do resultado alcançado. Comunicação direta entre projetista e planejador, facilitando a colaboração em uma equipe de projeto (transparência).
	Re-planejamento	✓	Foi praticado essa funcionalidade ao ter que sincronizar as versões do modelo, e verificar mudanças os arquivos de forma mais automatizada. As funções de planejar são todas integradas dentro da ferramenta.
	Integração entre o projeto e o cronograma	✓	As funcionalidades de checagem de informações geométricas e especificações. Permitiu identificar várias situações de "descompasso" do projeto e comunicada à equipe prontamente.
	Tomada de decisão	✓	Apoiou decisões de cunho gerencial para exibição de relatórios e checado aplicabilidade com integrantes treinados

Fonte: A autora

Quadro 15 – Análise dos Atributos da Modelagem BIM 4D da Pesquisa (Continuação)

Atributos testados na modelagem 4D			
Atributos	Validade	Observação	
Análise	Simulações 4D – Cenários What-if	✓	Simulação de perfil de crescimento, simulação de estágios futuros com uso do focus time na timeline.
	Deteccção de conflitos	✓	Foi praticado, pois identificou-se conflitos: - de projetos (nível do contrapiso abaixo da laje; descontinuidade do pilar 16 entre o 20º e 21º andar; repetição de objetos modelados nos arquivos); - agendamento (as tarefas de revestimento em ardósia estavam iniciando antes do contrapiso)
	Monitoramento de tempo	✓	Através dos usos de comparação dos linhas base salvas permite a comparação das possíveis distorções nos prazos e também no modelo 3D com compração entre o previsto e o realizado.
	Logística de canteiro	✓	Apoia o estudo da logística com uso de elementos temporários
	Alocação de recursos	✓	Permite os mesmos usos de alocação de recursos do MS Project, associando às tarefas materiais, equipamentos ou mão de obra.
	Avaliação da construtibilidade	✓	Apoia o estudo da construtibilidade com uso de elementos temporários e cenários de what-if
	Gerenciamento desde à concepção à operação	✓	Permite a gestão continuada com a retroalimentação dos avanços ocorridos em campo e com o amadurecimento do modelo 3D com uso de relatórios exportados e da própria ferramenta.
	Apoio à gestão de riscos e de saúde e segurança	✓	Apoia a prevenção de riscos com uso de elementos temporários, melhor visualização antecipada de cenários e tomadas de decisão pautadas em mais informações, porém é um apoio passivo, não há uma detecccção automatizada.

Fonte: A autora

Embora a pesquisa tenha se pautado em uma construção realizada previamente, a análise da combinação dos aplicativos selecionados e, o modelo serviram para verificar muitas de suas possíveis utilidades, como visualização de cronograma, simulações em 4D, reprogramação flexível, realização de análises como detecccção de conflitos. No final, algumas dessas funções foram mais bem-sucedidas do que outras, principalmente os atributos testados na fase empírica que seriam melhor testadas durante o acompanhamento e evolução de uma dinâmica real de monitoramento de obra, tais como logística de canteiro, alocação de recursos e o próprio monitoramento do tempo.

O *Synchro* é uma ferramenta realmente poderosa, muitas de suas funcionalidades foram exploradas, porém cabe diversas outras análises mais aprofundadas. Ele apresenta também alguns pontos fracos como ferramenta 4D BIM, apesar de suas inúmeras possibilidades. Verificou-se funcionalidades sofisticadas de gestão e planejamento, com atribuição de recursos, custos,

calendários, riscos etc. Entre outras coisas, é possível trabalhar em equipe, com várias pessoas interagindo ao mesmo tempo em um mesmo modelo por meio do compartilhamento utilizando uma rede local (*Local Area Network* - LAN). O *Synchro* baseia-se no método de caminho crítico (PERT-CPM) para acompanhamento.

O uso dessa ferramenta para o gerenciamento de saúde e segurança não pode ser contemplado em totalidade, pois há possibilidade de adicionar elementos de segurança temporários ao modelo e detectar inconsistências por meio da navegação, mas seu uso seria totalmente passivo dentro do *Synchro*. Ajuda apenas na visualização e não na detecção de riscos automatizada e/ou continua ao longo do ciclo de vida.

As pesquisas associadas com desenvolvimento de criação de regras podem contribuir para amenizar essa deficiência, porém, a maioria dos esforços ainda se concentra no rastreamento de objetos estáticos e em movimento, bem como em atividades de construção específicas. Por exemplo, Kim *et al.* (2004) apresentou um modelo teórico de um sistema de evasão de obstáculos. Mclaughlin *et al.* (2004) desenvolveram um sistema de detecção de obstáculos para permitir que as máquinas navegassem em torno de equipamentos com segurança.

Em busca de melhorar a segurança do levantamento cego de guindastes móveis e torre, Liu *et al.* (2013) apresentou um sistema de monitoramento em tempo real que integra o uso da identificação por radiofrequência (REID) e do sistema de posicionamento global (GPS), pode detectar a proximidade interativa entre o trabalho não autorizado ou a entrada de pessoal e do guindaste. Hu e Zhang (2011) propuseram um sistema para detectar automaticamente os riscos de trabalho em altura, incorporando o BIM com detecção de choques e, então, implementa esta solução teórica através do arquetípico integrado chamado 4D-GCPSU 2009.

A partir da pesquisa teórica e das atividades desenvolvidas com o *software* de modelagem 4D *Synchro* consolidou-se diversos requisitos necessários para operacionalização e melhor entendimento dos atributos da modelagem BIM 4D conforme detalhado no item 3.4 da revisão da literatura. O *software* requereu conhecimento de conceitos avançados de planejamento para permitir o uso mais avançado na sua totalidade de gestão da solução. Alguns recursos a complementam, tornando a ferramenta bastante completa, no Quadro 13 são

apresentados os respectivos requisitos que foram analisados no projeto de pesquisa com o detalhamento dos mesmos.

Quadro 16 – Análise dos Requisitos da Modelagem BIM 4D da Pesquisa

Requisitos testados na modelagem 4D		
Requisitos	Validade	Observação
Capacidade de importação	✓	Foi importado arquivo excel, project da parte do cronograma. Em relação a importação *ifc foi tudo ok.
Capacidade de exportação / saída	✓	Foi exportado vídeos e imagens.
Junção e atualização para o modelo 3D BIM	✓	Foram importados 23 arquivos *ifc distintos e combinados dentro da plataforma sem problemas.
Tamanho do arquivo	✓	Foi utilizado plug-in Xvid MPEG-4 Codec para redução do tamanho dos vídeos que estavam sendo exportados que estavam dificultando o compartilhamento de dados.
Ambiente de trabalho	✓	Foi necessário adquirir computador com capacidade de processamento do software e treinamento específico.
Troca de dados bidirecional	✓	Os arquivos importados originais podem ser modificáveis dentro da ferramenta, porém é importante seguir os fluxos específicos.
Nível de detalhe	✓	Foi necessário ajustar o nível a WBS para simular o processo de construção, assim como foi necessário agrupar objetos por estarem em um nível de decomposição acima da fase que se queria exibir
Perfil de aparência	✓	O Synchro permitiu usar diferentes perfis para para atividades do cronograma.
Reorganização de dados	✓	Foi possível criar filtros, perfis de aparência e ajustes dos dados de diferentes importações dentro da ferramenta.
Propriedades de agendamento (Schedule Properties)	✓	Foi verificado que havia descompasso no agendamento da ardósia e simulou-se dentro do synchro alterações da estrutura do cronograma com sucesso.
Ligação automática	✓	Foi estabelecido as três possibilidades de fluxo de trabalho com uso de regras de ligação automáticas dentro da ferramenta para otimização dos fluxos.
Elementos e equipamentos temporários	✓	A ferramenta possui biblioteca de alguns elementos e permite a importação dos elementos temporários.
Animação	✓	Os elementos podem ser animados para melhor representar a dinamicidade do objeto durante a construção, foi utilizado no guindaste.
Decomposição e agregação	✓	Embora essa função não tenha sido explorada, a função Subdivisão 3D pode ser usada para dividir um objeto de modelo em subpartes menores, para melhorar a representação da sequência construtiva. Há três formas distintas de realizar: Fatia, Fatia do usuário e Mão livre.

Fonte: A autora

Após a discussão e apresentação dos requisitos e atributos entendeu-se junto à construtora a necessidade de prescrever um fluxo de trabalho de práticas recomendadas para aumentar a qualidade, a produtividade além de, simplificar o nível de esforço na implantação da ferramenta de modelagem 4D.

De forma simplificada, é apresentado relativo a um resumo útil com um manual de boas práticas a serem consideradas. Tais práticas, devem ser consideradas nas etapas envolvidas no processo de implantação tradicional da modelagem BIM 4D, em um projeto típico, considerando a dinâmica do presente estudo.

- I. Solicite uma reunião para obtenção das documentações de padrões e de colaboração entre a engenharia e a gestão de projeto;
- II. Importe e revise o cronograma de marcos e trace a linha de base. Discuta e absorva a hierarquia do planejamento, as áreas de trabalho, os tipos de atividades, as durações e a lógica;
- III. Revisite o modelo 3D e o material fornecido pelo cliente para determinar se existe algum padrão para nomes de componentes, dados espaciais e dados dos materiais. Entenda o padrão de nomenclatura de IDs ativos, os nomes das atividades, códigos e valores, e campos de usuário que representem itens de espaços (por exemplo, nível, áreas, etc.) e tarefas de ação (por exemplo, forma, armação, reforço, concretagem, instalação, comissionamento, remoção, etc);
- IV. Importe os modelos 3D e revise os recursos. Compare para verificar a melhor opção para importação, visto que podem ser fornecidos modelos 3D em vários formatos;
- V. Vincule as atividades do cronograma aos objetos 3D, porém o objeto precisará primeiro ser atribuído a um recurso;
- VI. Entenda os nomes dos recursos, os níveis da árvore de objetos 3D e os campos de usuários e os valores que representam (por exemplo, construção, nível, áreas, etc), materiais e tipos de componentes (por exemplo, concreto, aço, janelas, tubulações, equipamentos). Principalmente, elucide quais são os valores de ID e sua lógica de concatenação;
- VII. Crie perfis de exibição de recursos 3D para o trabalho realizado para tarefas e/ou tipos de recursos;
- VIII. Determine se existe um código comum entre o modelo e a programação que pode ser usado para criar regras para combinar automaticamente

tarefas com recursos. Se houver um código comum, use métodos de correspondência automática para criar atribuições;

- IX. Caso não exista códigos comuns, códigos de atividades ou de objetos 3D, ou se a qualidade dos dados for insatisfatória (incompleta ou com erros), determine o melhor método para criar atribuições de recurso de tarefa;
- X. Ao gerar atribuições de recurso de tarefa, crie filtros 3D de coluna que possam ser usados para acessar e criar organização de dados;
- XI. Conforme o modelo está sendo desenvolvido, reproduza a sequência de construção para verificar as atribuições;
- XII. Como o modelo geralmente está em desenvolvimento (não no caso deste projeto), comunique-se frequentemente com a equipe de controle de gerenciamento, engenharia e projeto, conforme os problemas sejam identificados dentro do modelo e/ou cronograma;
- XIII. Após a conclusão do cronograma de linha de base e das atribuições do modelo, o projeto 4D pode ser desenvolvido para incluir equipamentos de construção e espaços de trabalho;
- XIV. Importe e obtenha equipamentos não modelados (torre, guindastes, guas) e obras temporárias (andaimes, rampas, etc) atribuindo-os as atividades e programando-as na sequência correta;
- XV. Conceba espaços de trabalhos para áreas de depósitos e construções temporárias (canteiros, pátio de pré-moldados, etc);
- XVI. Produza animações e relatórios para comunicar e distribuir o projeto 4D ao proprietário, à equipe de projeto e outras partes interessadas;
- XVII. Atualize o plano de implementação com uma periodicidade que atenda a dinamicidade do contrato.

Todas as funcionalidades proporcionadas pelo modelo 4D incrementam o processo de planejamento. Desta forma, pode-se obter, análises e resultados mais assertivos, aprofundados e de melhor entendimento das partes envolvidas e associadas à uma dinâmica processual dentro de uma empresa que absorva os fluxos de trabalho necessários. Tal condição, portanto, pode potencializar ainda mais a ferramenta.

O *Synchro PRO* possui muitos pontos fortes que se apresentam como oportunidades, pois incorpora todos os recursos que se pode esperar de uma ferramenta 4D BIM, como mostrado nos quadros 12 e 13. A animação que expõe virtualmente o processo de construção do empreendimento, auxilia o planejamento, aproximando o conteúdo do cronograma ao conteúdo dos projetos, sendo possível validar o planejado por meio da visualização. Esse produto beneficia diversos integrantes relacionados à obra como engenheiros, arquitetos, gestores, clientes, dentre outros.

Além de oportunidades, o *Synchro PRO* possui alguns pontos fracos que representam limitações, sendo os seguintes os mais significativos:

Embora, de uma maneira ou de outra, o *Synchro PRO* abranja as funcionalidades de gerenciamento de projetos descritas anteriormente, algumas delas são abordadas de modo “passivo” e não de um modo 'ativo'. Isso significa que essas funcionalidades são suportadas pelas tecnologias 4D apenas devido ao fato de melhorarem a visualização. Conseqüentemente, um papel mais ativo dessas ferramentas também seria útil. Isso geralmente é alcançado por automação adicional. Essa limitação é aplicável ao apoio à gestão riscos de segurança do trabalho e os demais atributos de análise.

Outra limitação é o ambiente trabalho que é requerido, pois há que se providenciar um computador que atenda aos requisitos básicos de sistema exigidos pelo *Synchro PRO* (Apêndice A). A aplicação do BIM 4D se feita por um profissional treinado é um processo relativamente até rápido, chegando a horas, mas requer profissionais altamente qualificados para usar a ferramenta dependendo do nível de detalhamento e complexidade do empreendimento e do fluxo sistematizado. Essa restrição, portanto, pode se tornar um fator limitador.

Existem, ainda, diversas condições que os modelos 4D não conseguem refletir explicitamente, como indecisão humana, detalhes do canteiro de obras tais como simulações de operações, análise de quantidades de materiais, atividades administrativas e externas ao canteiro que não podem ser representadas virtualmente, situações estas que não podem ser ignoradas pelo planejador e que fazem com que o mesmo tenha controles complementares ao modelo 4D.

6.2 Conclusões

A melhoria do desempenho da construção, que atualmente fica atrás de outras indústrias, parece depender de muitos aspectos diferentes e inovadores que estão sempre despontando. Ainda é precária a existência de trabalhos científicos nacionais que tratam sobre a modelagem da informação da construção em geral. O investimento na adoção do BIM, como qualquer investimento em novas tecnologias, exige um dispêndio significativo principalmente para pequenas e médias empresas, que somado às incertezas sobre os benefícios e retornos, gera uma baixa aderência de usuários. Desta forma, não se pode responsabilizar apenas as empresas por não estarem investindo esforços maiores em inovação, em especial, em BIM 4D na área da construção no Brasil.

A modelagem BIM 4D é muito útil para apoiar as técnicas tradicionais de planejamento que dificultam a visualização e compreensão espacial e pode oferecer mais do que apenas uma visualização das sequências construtivas, na qual o termo "simulação 4D" é comumente entendido. Motivada por este cenário ao longo do desenvolvimento desta pesquisa procurou-se atender o objetivo principal desta dissertação: desenvolver a modelagem BIM 4D de uma edificação concluída em uma construtora em fase de implantação BIM na busca de identificar os requisitos necessários ao desenvolvimento dos atributos da modelagem 4D que pudessem impactar em seus diferentes usos nas dinâmicas de gerenciamento da construção civil.

Com base em uma revisão da literatura sobre noções relevantes da metodologia BIM que fundamentaram a parte prática da pesquisa, em como está o cenário da indústria da AEC para a implantação do BIM, seguido de um direcionamento das oportunidades dos usos BIM para seu uso específico no apoio ao gerenciamento de projetos a partir da 4ª dimensão, o tempo. O desenvolvimento deste trabalho ocorreu em três fases: exploratória, de desenvolvimento e de consolidação. Apoiado no escopo da pesquisa, optou-se pela *design science research* como estratégia de pesquisa deste trabalho, visto que, dentre outros motivos a partir da consolidação de um conjunto de prescrições buscou-se contribuir para a gestão do empresa estudada, ou seja, seu foco reflete um problema real e de relevância prática para a empresa.

A fase exploratória consistiu da análise, seleção e treinamento dos *softwares* BIM e de modelagem BIM 4D, além do entendimento de quais eram os requisitos teóricos da modelagem BIM 4D. A fase de desenvolvimento consistiu na modelagem BIM 3D, de um estudo exploratório e um outro empírico. O primeiro focado em todos os requisitos possíveis de analisar nas condições reais da obra concluída da empresa estudada e o segundo que permitisse ampliar a varredura dos requisitos que impactam os atributos da modelagem BIM 4D.

Por se tratar de uma pesquisa construtiva, dois tipos de contribuições eram esperadas: a contribuição teórica e a contribuição prática relacionadas ao objetivo geral deste trabalho. A contribuição teórica deste trabalho, diz respeito a uma abordagem mais aprofundada e detalhada dos atributos, respectivas limitações e boas práticas da tecnologia de modelagem e análise BIM 4D combinados com fluxos de trabalho que pudessem permitir uma série de vantagens para as práticas de gerenciamento da construção ao longo do ciclo de vida do empreendimento por terem sido pouco discutidas de forma aplicada, especialmente em relação ao uso do *Synchro PRO*, uma plataforma integrada de planejamento 4D da construção.

Do ponto de vista prático, acredita-se que este trabalho trata-se de uma contribuição não só para a empresa participante do estudo, que pôde utilizar-se da pesquisa como uma das etapas do seu processo de treinamento e implantação da metodologia BIM ainda em caráter preliminar, mas podendo ser apropriado à outras empresas similares do setor.

O primeiro objetivo específico consistiu em “analisar se uma combinação específica de *softwares* realmente cumpre seus atributos teóricos gerais e se permitem o ambiente colaborativo da modelagem BIM 4D”. O uso do *Synchro Pro* requereu o uso de outras 2 plataformas para possibilitar a modelagem em 4D: *Archicad* e *MS Project 2010*. Analisou-se o fluxo de trabalho e concluiu-se que *Synchro PRO* é uma ferramenta bastante completa e totalmente integrada quando se trata de planejamento em 4D, o que naturalmente estimula a colaboração durante a rotina do trabalho e como se tratou de um caso real, trouxe consigo a afirmação da viabilidade do processo.

O segundo objetivo específico tratava-se de “discriminar dinâmicas de gerenciamento da construção que possam ser auxiliadas pela modelagem BIM 4D assim como as oportunidades e limitações dos seus usos associados”. O *Synchro*

PRO abranje as funcionalidades de gerenciamento de projetos além da visualização das sequências construtivas descritas anteriormente que foram agrupadas em atributos de visualização, integração e análise, porém algumas delas são abordadas de modo “passivo”, apoiando o processo de gerenciamento existente dessas funcionalidades com a melhoria da visualização.

Adicionalmente, o terceiro objetivo específico referiu-se a “analisar melhorias com uso da modelagem BIM 4D frente as limitações do processo tradicional de planejamento na construção civil”. Esta etapa do estudo permitiu entender que o processo tradicional de planejamento não é descartado, o que se tem é a facilitação da entrega a que se propõe o planejamento que é permitir aos envolvidos o entendimento das etapas, responsabilidades e sequências construtivas. A modelagem BIM 4D vem potencializar além da otimização do cronograma que se é obtida, como também, a partir da animação que expõe virtualmente o processo de construção do empreendimento que os diversos integrantes relacionados à obra sejam beneficiados com as práticas de gerenciamento melhoradas.

O último objetivo consistiu em “analisar, na prática, as boas práticas necessárias da nova tecnologia aplicada a um empreendimento numa construtora de Belo Horizonte”. Ficou evidenciado que o não entendimento dos requisitos necessários e com manipulação indevida ou não observante do contexto inserido da ferramenta, a dinâmica de trabalho pode ser improdutiva e não permitir o favorecimento do potencial efetivo dos atributos descritos. Esta análise delimita uma sequência de boas práticas a serem consideradas nas etapas envolvidas no processo de implantação da modelagem BIM 4D em projetos similares.

Por fim, a construção assim com a humanidade, está mudando e evoluindo continuamente. Os avanços tecnológicos estão mais uma vez oferecendo suporte a esse processo de melhorias e de adaptação, mas a história mostra que não se trata apenas de desenvolvimento de novas tecnologias. O envolvimento das pessoas que a executam desde a concepção à operação nessa evolução é que determinam se essas abordagens inovadoras e promissoras serão adotadas ou descartadas.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para trabalhos futuros foram propostas com base no desenvolvimento deste trabalho.

- Aplicação do BIM 4D e BIM 5D em um estudo de caso com a utilização do *Vico Software*;
- Aplicação do BIM 4D durante todo o ciclo de vida de um empreendimento;
- Analisar o uso de dispositivo móvel no canteiro de obras para retroalimentar a coleta de dados do monitoramento em tempo real do andamento das atividades de forma integrada;
- Avaliar e refinar as boas práticas identificadas em empresas que utilizem métodos de contratação baseados no IPD e que adotem conceitos de *Lean Construction* que incentivam o ambiente colaborativo;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIA. The American Institute of Architects. AIA Document E202: Building Information Modeling Protocol Exhibit, 2008. Disponível em: <http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab083007.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.

ANDRADE, M.; RUSCHEL, R. BIM: Conceitos, cenários das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. **SBQP-Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto Construído**. São Carlos - SP, 2009.

ANDRADE, M.L.V. **Projeto Performativo na Prática Arquitetônica Recente: Estrutura Conceitual**. 2012. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Estadual de Campinas, Campinas 2012.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. BIM na quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC. Brasília, 2017. Disponível em: <http://old.abdi.com.br/Paginas/bim_construcao_download.aspx>. Acesso em: jun. 2018.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Relatório de ações 2011-2014. 2011. Disponível em: <<http://old.abdi.com.br/Estudo/RelatorioGest%C3%A3o2011-2014.pdf>>. Acesso em: set. 2018.

ASCE, M.; ASCE, M.; CLAYTON, M. J.; KANG, H.; STUART, D. A. Empirical Study on the Merit of Web-Based 4D Visualization in Collaborative Construction Planning and Scheduling Julian. **Journal of construction engineering and management**, n.133, p 447-461, 2007.

AZHAR, S. Role of visualization Technologies in safety planning and management at construction jobsites. **Procedia Engineering**, n. 171, p 215-226, 2017.

BAIA, D. V. S. **Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2015.

BANDEIRA, R. A de M.; MAGALHÃES, R. M.; MELLO, L. C. B. de. Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 44-55, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v25n1/0104-530X-gp-0104-530X2079-15.pdf>>. Acesso em: ago, 2018.

BARBOSA, A.C.M. **A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático da construção de uma ETAR na Argélia**. Dissertação (Mestrado). Isep - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014.

BATAGLIN, F. S.; **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados Engineer-to-ord. Dissertação.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2017.

BIOTTO, C.N.; **Método para planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso de modelagem BIM 4D.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção em empreendimentos de construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

BORTOLINI.R; **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. The challenge of level of development in 4D BIM simulation across AEC project lifecycle. A case study. **Procedia Engineering**, v. 123, p59-67, 2015.

BOTON, C., KUBICKI, S., HALIN, G. Designing adapted visualization for collaborative 4D applications. **Automation in Construction**, v. 36, p. 152–167, 2013.

BRITO, D. M.; FERREIRA, E. a. M. Strategies for representation and analyses of 4D modeling applied to construction project management. **Procedia Economics and Finance**, v. 21, n. 15, p. 374–382, 2015.

BROWN, D. C.; RILEY, M.J. Comparison of cultures in construction and manufacturing industries. **Journal of Management in Engineering**, v. 17, n. 3, p. 149-158, 2001.

BROCARD, F. L. M.; SCHEER, S. O uso da Modelagem da Informação da construção 4D (BIM 4D) em projetos de obras militares. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 1.: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 10., 2017, Fortaleza. **Anais...** Ceará: SIBRAGEC - SBTIC 2017

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção em empreendimentos de construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.

BORGES, M. L. A. E; **Método para implementação da modelagem BIM 4D em empresas construtoras.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRN, Natal, 2019.