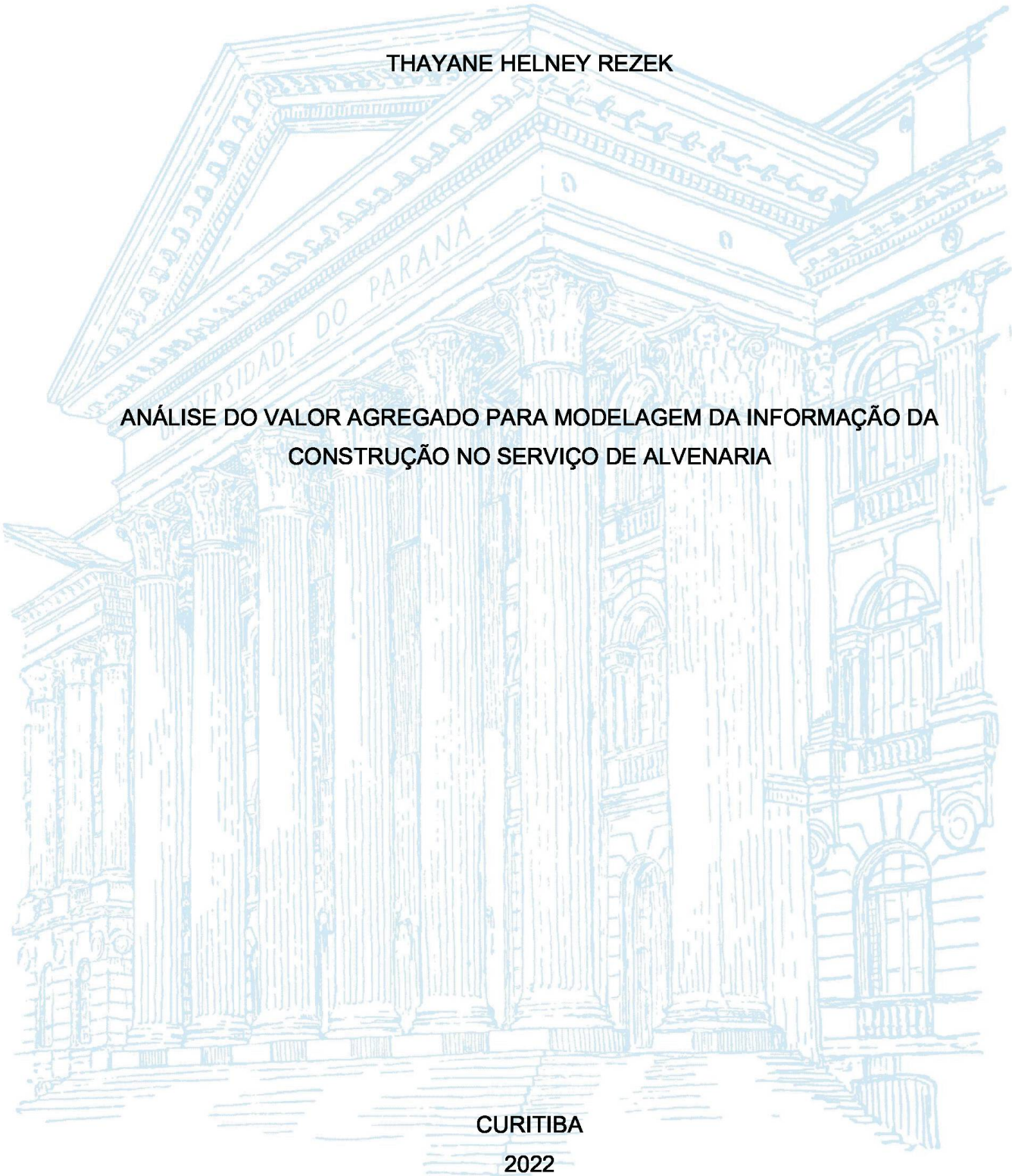
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAYANE HELNEY REZEK



ANÁLISE DO VALOR AGREGADO PARA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO SERVIÇO DE ALVENARIA

CURITIBA

2022

THAYANE HELNEY REZEK

ANÁLISE DO VALOR AGREGADO PARA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO SERVIÇO DE ALVENARIA

Dissertação de Mestrado apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Rezek, Thayane Helney
Análise do valor agregado para modelagem da informação da construção no serviço de alvenaria / Thayane Helney Rezek. – Curitiba, 2022.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Sergio Scheer

1. Modelagem de informação da construção. 2. Valor agregado – análise. 3. Automação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Scheer, Sergio. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL - 40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **THAYANE HELNEY REZEK** intitulada: **Análise do valor agregado para modelagem da informação da construção no serviço de alvenaria**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO SCHEER, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Março de 2022.

Assinatura Eletrônica
28/03/2022 16:21:42.0
SÉRGIO SCHEER
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
28/03/2022 15:45:28.0
MARIA DO CARMO DUARTE FREITAS
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
28/03/2022 17:06:07.0
SHEYLA MARA BAPTISTA SERRA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 169119
Para autenticar este documento/assinatura, acesse https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp e insira o codigo 169119

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar e proporcionar o privilégio de chegar até aqui, sem Ele nada sou. Agradeço a minha amada família por me acompanhar e me incentivar a sempre perseguir meus sonhos e pela paciência que tiveram no decorrer desses anos para me sustentarem em cada crise de ansiedade e paciência nos momentos de nervosismo. Não tem palavras para expressar minha gratidão e amor a vocês!

Um agradecimento especial também ao meu melhor amigo e namorado que me incentivou e apoiou e assim como minha família esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa concedida para a realização deste trabalho. Ao meu orientador Sérgio Scheer, pela dedicação e paciência, esclarecimentos e apoios, sempre me guiando e contribuindo para meu aprendizado e crescimento ao longo desses anos.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que conseguisse dar mais esse passo e desenvolvesse esse trabalho, meu muito obrigada!

“Que você seja esse Girassol, que brota nessa rua de desatenção, dessa vida vulgarmente cotidiana”

Ítalo Marsili

RESUMO

A indústria da construção civil está caminhando para uma maior adoção de tecnologias na busca de novas práticas a fim de melhorar sua competitividade, pois ainda possui suas fases segregadas ocasionando entre outros a falha no fluxo de informação. A utilização da modelagem da informação da construção ou BIM na construção traz vantagens na obtenção de dados que poupam tempo e dinheiro. Na obra há possibilidade de utilização como canal direto para enviar *feedback* de informações. Com o objetivo de criar um método para controle de execução a partir da análise do valor agregado (EVA) com a utilização de modelos BIM, a pesquisa foi baseada na metodologia da Design Science Research (DSR) e proposta em três fases (ciclos de rigor, de relevância e de design). Para o desenvolvimento do artefato foi feita uma revisão da literatura como embasamento teórico e coleta de dados em uma construtora. A avaliação do artefato foi realizada de forma cíclica durante seu desenvolvimento por testes funcionais e de forma final por simulação que serviu como experimento controlado para obter a evidência do cumprimento de integração do fluxo de informações, facilidade de uso e utilidade. Os resultados encontrados demonstraram que a utilização do modelo com visão operacional facilita a integração com os processos de planejamento e controle, possibilitando automatizar a coleta de dados na obra para o controle de medição e obter índices de desempenho do empreendimento.

Palavras-chave: *Building Information Modeling*. Gerenciamento e controle de obra. Análise do valor agregado. Automação.

ABSTRACT

The civil construction industry is moving towards a greater adoption of technologies in the search for new practices in order to improve its competitiveness, as it currently has its phases segregated, causing, among other things, a failure in the flow of information. The use of building information modelling or BIM in construction has advantages in obtaining data that save time and money. In the site it can be used as a direct channel to send information feedback. In order to creating a method for execution control from the earned value analysis (EVA) using BIM models, the research was based on the methodology of Design Science Research (DSR) and proposed in three phases (cycles of rigor, relevance and design). For the development of the artifact, a literature review was made as a theoretical basis and data collection in a construction company. The evaluation of the artifact was carried out cyclically during its development by functional tests and finally by simulation that served as a controlled experiment to obtain evidence of compliance with information flow integration, ease of use and usefulness. The results showed that the use of the model with an operational view facilitates the integration with the planning and control processes, making it possible to automate the data collection in the site for the measurement control and obtain performance indexes of the enterprise.

Keywords: Building Information Modeling. Construction management and control. Earned value analysis. Automation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - INTERAÇÃO ENTRE OS GRUPOS DE PROCESSOS DE GERENCIAMENTO DE PROJETO....24
FIGURA 2 - NÍVEL DE MATURIDADE....36
FIGURA 3 – USOS DO BIM....38
FIGURA 4 – USOS DO MODELO....39
FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÕES DE LOD....41
FIGURA 6 – PROCEDIMENTO BEP....46
FIGURA 7 – ESTRUTURA CONCEITUAL....48
FIGURA 8 – COMUNICAÇÃO DOS DADOS....51
FIGURA 9 – LÓGICA ABDUTIVA NA PRODUÇÃO DE UM NOVO ARTEFATO....60
FIGURA 10 – CICLOS DA DESIGN SCIENCE RESEARCH....60
FIGURA 11 – PRINCIPAIS ELEMENTOS....61
FIGURA 12 – DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA....62
FIGURA 13 – PROJETO UNIDADE RESIDENCIAL....64
FIGURA 14 – PLANILHA PLANEJAMENTO FÍSICO....65
FIGURA 15 – DASHBOARD DO EMPREENDIMENTO....66
FIGURA 16 – FLUXO EXISTENTE....66
FIGURA 17 – MODELO DA PROPOSIÇÃO (I)....71
FIGURA 18 – MODELO PROPOSTO....73
FIGURA 19 – ARTEFATO PROPOSTO....75
FIGURA 20 – INFORMAÇÕES PLANILHA DE CONTROLE....76
FIGURA 21 – LAYOUT USBIM....78
FIGURA 22 – JANELA DE PROPRIEDADES....80
FIGURA 23 – PASSO A PASSO EDIÇÃO....81
FIGURA 24 – CÓDIGO PROPERTYSET....82
FIGURA 25 – ROTINA PARA EXPORTAÇÃO....83
FIGURA 26 – ROTINA PARA GERENCIAMENTO VISUAL....85
FIGURA 27 – VISTA PARA GERENCIAMENTO VISUAL....86
FIGURA 28 – PARÂMETROS DE ACORDO COM O PSET....88
FIGURA 29 – ACESSO AO MODELO....88
FIGURA 30 – ANÁLISE....89

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DADOS DE ENTRADA DO CÁLCULO DA EVA.....27
QUADRO 2 – CÁLCULO DA EVA – INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO.....28
QUADRO 3 – ABORDAGENS DO BIM EM PLANEJAMENTO, ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DE OBRA.....57
QUADRO 4 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS.....68

LISTA DE TABELAS

NENHUMA ENTRADA DE ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES FOI ENCONTRADA.

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AIA	- American Institute of Architects
BEP	- BIM Execution Plan
BIM	- Building Information Modeling
bSI	- buildingSMART International
DA	- Design Assist
DB	- Design Build
DSR	- Design Science Research
EAP	- Estrutura Analítica do Projeto
EDT	- Estrutura da Divisão do Trabalho
EVA	- Earned Value Analysis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFC	- Industry Foundation Classes
IoT	- Internet of Things
IPD	- Integrated Project Delivery
ISO	- International Organization for Standardization
LOD	- Level of Detail
MDV	- Model View Definition
IDM	- Information Delivery Manual
PAIC	- Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PCP	- Planejamento e controle da produção
PMBOK	- Project Management Body of Knowledge
PMI	- Project Management Institute
PPC	- Percentual de Pacotes Concluídos
Pset	- PropertySet
SLP	- Sistema Last Planner
SPI	- Sistema de Posicionamento Interno
TI	- Tecnologia da Informação
TIC	- Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 PROBLEMA 17
1.2 PRESSUPOSTOS DA PESQUISA 20
1.3 OBJETIVOS 20
1.4 JUSTIFICATIVA 20
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO 22
2 GERENCIAMENTO E CONTROLE DE OBRAS 23
2.1 GERENCIAMENTO PELO TEMPO 24
2.2 GERENCIAMENTO PELO CUSTO 26
2.2.1 Análise do valor agregado - EVA 27
2.2.2 Parâmetros da EVA 27
2.2.3 Índices da EVA 28
2.3 GERENCIAMENTO PELA PRODUÇÃO 30
2.3.1 Last Planner 30
2.3.2 Linha de Balanço 31
2.4 GERENCIAMENTO COM O BIM 31
3 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) 34
3.1 USOS DO BIM 37
3.2 INFORMAÇÃO NO BIM 39
3.2.1 LOD 40
3.2.2 Requisitos de informação 41
3.2.3 Nível necessário de informação 41
3.3 INTEROPERABILIDADE 42
3.4 PLANO DE EXECUÇÃO BIM 44
3.5 BIM PARA GERENCIAMENTO DA OBRA 46
4 MÉTODO DE PESQUISA 59
4.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH 59
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA 62
4.2.1 Fase 1 ou ciclo do rigor 63
4.2.2 Fase 2 ou ciclo do design 67
4.2.3 Fase 3 ou ciclo de relevância 68
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS 69

4.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO 69
5 APRESENTAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS 70
5.1 PROJETO DO ARTEFATO 70
5.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO 74
5.2.1 Modelagem 3D 75
5.2.2 Acompanhamento 78
5.2.3 Exportação 81
5.2.4 Gerenciamento visual 84
5.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO 86
6 CONCLUSÃO 92
REFERÊNCIAS 96
ANEXO A 103
ANEXO B 106
ANEXO C 107
ANEXO D 109

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) em 2019 as empresas ativas no ramo no Brasil totalizaram uma receita bruta acima de trezentos milhões de reais. A maioria das empresas praticam o exercício de atividades de construção de edifícios e serviços especializados para construção. Em que as empresas são em sua maioria de pequeno porte (IBGE, 2021). Em um contexto geral com esses dados é possível dizer que a indústria da construção civil tem impacto direto na economia do país.

Os projetos da indústria da construção estão cada vez mais complexos e desafiadores para se controlar, o que pode ter impulsionado o desenvolvimento de soluções a partir do uso de tecnologias de informação e comunicação (MACHADO e VILELA, 2020).

Porém quando comparada a outras indústrias, é a única com a característica de produção de uma série de processos descontínuos, em que ainda se segue as práticas tradicionais da indústria de mão de obra intensiva, com alto consumo de energia, poluição ambiental e riscos de segurança e baixa produtividade na entrega do empreendimento (YOU; FENG, 2020).

De acordo com Mattos (2019) pelo histórico da construção civil seu desenvolvimento ocorreu com grande informalidade o que acarretou num inevitável afastamento do canteiro de obra em relação ao planejamento e ao acompanhamento pelo engenheiro civil. Para o mesmo autor graças a intensificação da competitividade na indústria da construção civil, as empresas notaram a necessidade de investir em gestão e controle de obra pois sem essa sistemática gerencial, indicadores como prazo, custo, lucro, retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa se perdem de vista.

O desenvolvimento de uma visão estruturada voltada ao uso de conhecimentos consolidados em gerenciamento na indústria da construção civil está em processo evolutivo (PINTO, 2012). Sendo o controle a finalização do ciclo lógico de gerenciamento de um projeto e, com isso, o estabelecimento de condição de retroalimentação contínua do sistema de planejamento, programação e controle, através da aferição do executado, comparando-o com o planejado na busca da determinação do avanço, detecção de desvios e definição de correções (NOVAIS, 2000; BRITO e FERREIRA, 2015). Assim, os indicadores de desempenho de projetos são instrumentos de gestão essenciais nas atividades de monitoramento de

avaliação, uma vez que permitem o acompanhamento e o alcance das metas, além da identificação de avanços e melhorias de qualidade (MARCO e NARBAEV, 2013).

Uma das técnicas de controle utilizadas na construção civil é a análise do valor agregado (*Earned Value Analysis* - EVA). Por meio da integração de dados reais de tempo e custo, a EVA possibilita a análise de variância e tendência e permite ao gerente uma clara noção da situação da obra, em razão das dimensões de tempo e custo estarem relacionadas. Dessa forma por meio de indicadores de desempenho consegue-se antever o resultado provável do projeto em termos de custo e prazo (MATTOS, 2019).

Assim como a quarta revolução industrial para os outros setores, a indústria 4.0, na construção civil torna-se o caminho natural para aumentar competitividade, produtividade e redução de custos (REISINGER *et al.* 2020; CRAVEIRO *et al.* 2019). Porém a singularidade da indústria da construção desafia a adaptação direta das tecnologias usadas em muitas outras indústrias (CRAVEIRO *et al.* 2019).

As tecnologias digitais estão entrando nos campos da indústria da construção civil mesmo que de forma lenta e gradual e apoiam entre outros a otimização de design eficiente, avaliação de desempenho, gestão de recursos, monitoramento de risco e economia de energia (YOU; FENG, 2020).

Conforme explicam Machado e Vilela (2020) o controle é dificultado pelo complexo processo de construção e fragmentação da indústria. Sena (2019) exprime a possibilidade de aumentar a eficiência do setor da construção por meio da metodologia BIM na concepção e gestão de projetos, pela possibilidade de elementos e dados permitirem ampliar as perspectivas de automatização de diversos processos ligados ao ciclo de vida de um projeto.

Segundo Craveiro *et al.* (2019) "a construção 4.0 exigirá a transformação da indústria da construção em direção à 4ª revolução industrial, da produção automatizada a um maior nível de digitalização, por meio de um sistema BIM". O modelo da informação da construção possibilita a conexão entre o sistema virtual e a construção real, permitindo que a grande quantidade de dados compartilhados em projetos de construção seja agregada à um modelo que pode ser usado em todo o ciclo de vida do projeto.

De acordo com Sacks *et al.* (2021) inconsistências entre documentos de desenho, o fluxo restrito de informações em grandes entregas e os lapsos temporais após os pedidos de informação são algumas das causas para desperdício na

construção e a utilização do BIM contribui muito para evitar essas perdas pela maneira com a qual as informações são geradas, administradas e transmitidas.

A aderência da tecnologia de processos em BIM dentro do mercado da construção civil pode acontecer de diversas formas, pois a quantidade de informação útil dentro de um modelo BIM pode ser utilizada desde a fase de concepção até o uso e operação do empreendimento (LIMA, 2019). No entanto segundo Koskela e Dave (2008) no ponto de vista da tecnologia da informação (TI) se o processo de implementação não for condizente, os resultados desejados não serão obtidos. Dessa forma os autores explicam que nas aplicações de TI é essencial que sejam acompanhadas de mudança operacional, em que pessoas, processos e sistemas de informação se apoiem.

Para Mrazovic *et al.* (2021) a pandemia acelerou a adoção de tecnologia no setor da construção civil e essa digitalização acelerada está transformando o setor, tornando-o mais padronizado, consolidado, integrado e baseado em projetos. Com isso o ambiente tecnológico do setor está mudando para plataformas de software integradas que atendem melhor às necessidades do cliente.

Ainda de acordo com Mrazovic *et al.* (2021) investimentos em tecnologias de construção estão aumentando em linha com a transformação digital acelerada. A indústria da construção civil está, de forma rápida, adotando estratégias acessíveis de compartilhar informações e colaboração, isso tornou a tecnologia muito importante para os *stackholders* da construção.

O modelo BIM pode ser descrito conforme sua capacidade de suporte do tipo de requisito de informação, ou seja, consegue-se definir o que se pode fazer com o modelo (SACKS *et al.* 2021). Dessa forma têm a serventia de ser empregado como fonte de consulta durante a obra, facilitando a localização das informações nos projetos (MARTINS; CACHADINHA, 2012 apud LIMA, 2019).

Peyerl (2007) defende que a utilização de dispositivos móveis e internet para auxílio das operações no canteiro de obra gera um ganho significativo no apoio ao planejamento, gestão da alocação de recursos e integração da equipe.

Dessa forma a integração dos processos dentro da indústria da construção civil traria benefícios, por ser um setor com vários agentes envolvidos na cadeia produtiva, que trabalham em ambientes separados, de intenso fluxo de informação e possui comunicação ineficiente. Essa integração por sua vez diminuiria alguns desperdícios do setor, pois de acordo com Matthews *et al*. (2015) a ineficiência na prestação de informações que ocorre durante as construções são causas de

retrabalho e da fraca produtividade, que acarretam em replanejamentos e excesso de custos.

1.1 PROBLEMA

Para Arrotéia *et al.* (2014) os projetos são desenvolvidos por um grande número de agentes de forma isolada ocorrendo a fragmentação das fases durante o ciclo de vida dos empreendimentos. Ao passo que para a eficiência do realinhamento da produção real com a prevista é necessário ter agilidade na manipulação e troca da informação do processo de gestão e monitoramento da construção (NOVAIS, 2000).

Sendo um dos desafios desse cenário a obtenção contínua de dados integrados, segundo Dave (2013) os processos BIM aparecem como resposta a esse desafio por auxiliarem na sincronização e visualização de diferentes tipos de informação.

A tecnologia utilizada no processo da modelagem da informação da construção (*Building Information Modeling* ou BIM) facilita o trabalho simultâneo de múltiplas disciplinas e permite oportunidades de melhoria contínua; o BIM se caracteriza pelo trabalho colaborativo entre os interessados durante o processo relacionado à construção do produto edificação (EASTMAN *et al.*, 2014). Com auxílio da tecnologia ganha-se qualidade no processo de projeto e ao longo de todo o ciclo de vida do produto, tendo uma melhoria no produto final.

Enquanto Matthews *et al.* (2015) sugerem que estudos sobre como o BIM pode ser operacionalizado na obra durante a construção podem contribuir para melhorar o desempenho do setor da construção, Santos *et al.* (2021) expõem que as pequenas e médias empresas possuem dificuldades de adquirir novas tecnologias pelo baixo capital disponível para sua aquisição.

De acordo com Sacks *et al.* (2021) as áreas de aplicação do BIM para os construtores incluem entre outros: suporte para construção enxuta; Levantamento de quantitativos e estimativa de custos; Análise e planejamento da construção; Integração com controle de custos, cronogramas, qualidade e segurança; BIM no canteiro de obras; Melhoria da entrega do prédio finalizado ao proprietário.

Os modelos BIM são usados de diferentes maneiras e de acordo com o objetivo que se busca alcançar. Segundo Messner *et al.* (2021) o uso de BIM é descrito como uma prática de aplicação de Modelagem de Informação de

Construção para atingir um ou mais objetivos particulares ao longo do ciclo de vida do ativo.

Segundo a BIMe Initiative (2021) os usos do modelo identificam e agrupam os requisitos de informação que precisam ser entregues, e são agrupados em três categorias (modelos de uso geral, modelo de domínio e modelo personalizado). O uso do BIM para análise de valor está na categoria de domínio na área de planejamento e design (competência de operação), sendo o uso de modelo que representa como os modelos 3D são usados para realizar exercícios de gerenciamento de valor.

Algumas pesquisas têm se desenvolvido para integrar informações de prazo e custo, como Wang *et al.* (2014) que apresentaram um modelo BIM 5D para auxílio no controle de custos e prazo, Fan *et al.* (2015) que propuseram a integração automática dos itens de custo e os itens de programação por meio do BIM. Santos (2018) seguiu a mesma linha elaborando um método que descreve o fluxo de informações para integração dos processos de orçamento, planejamento e acompanhamento da produção com apoio de BIM, enquanto Jrade e Lessard (2015) propuseram um sistema integrado de gerenciamento de tempo em um ambiente virtual em que uma plataforma baseada na análise de valor agregado foi utilizada.

De Marco e Narbaev (2013) objetivaram disseminar a técnica da EVA demonstrando sua aplicabilidade e viabilidade na construção civil, no entanto não utilizou o BIM no estudo. Os autores destacaram que relatórios confiáveis e honestos e dificuldades na medição do progresso físico real das atividades de construção podem retardar a implementação da EVA.

Diferentes autores também trazem críticas sobre as aplicações da técnica da EVA, Kim e Ballard (2000) analisaram as aplicações da técnica na indústria da construção a partir da perspectiva de fluxo de trabalho e concluíram que o EVA é uma ferramenta inadequada para monitorar o fluxo de trabalho pois é baseado no modelo de conversão, com isso não aborda valor a partir da visão do cliente. Outro ponto destacado é de que os gerentes de projetos conseguem realizar tarefas antecipadamente visando a demonstrar resultados imediatos no valor agregado podendo comprometer o desempenho posterior do projeto. Fato expresso por Seppänen e Kenley (2010) que o indicador de desempenho de prazo do valor agregado é silencioso sobre a eficiência da produção porque não consideram onde o trabalho foi realizado em que a técnica avalia apenas o desempenho em relação

ao desempenho orçado não considerando os efeitos dos atrasos nos custos indiretos.

Outra dificuldade apontada é a determinação da porcentagem de conclusão de algumas tarefas, e a separação dos custos indiretos dos custos específicos das tarefas na comparação de custos reais com os orçados (CZERNIGOWSKA, 2008). De acordo com Cândido *et al.* (2014) a EVA é inadequada para um projeto típico de construção pela variabilidade da previsão de custos e prazo para o término, e picos em fases iniciais de trabalho o que acarreta em excessivas reprogramações do trabalho com base em previsões erradas. Para os autores técnicas de medição devem ser fundamentadas em aspectos físicos e qualitativos de progresso da produção, não sendo o dinheiro um bom parâmetro de equivalência entre todas as atividades, por isso indicam a utilização em conjunto com a gestão enxuta.

Porém o fator destacado por Kim e Ballard (2000) em que a EVA não aborda valor na visão do cliente, não considerou que o cliente pode ser a empresa construtora que utiliza a contratação por subempreitada de mão de obra. Outro ponto a ser destacado é que a EVA auxilia no controle e documentação do custo para a liberação do financiamento. Fato não considerado por Cândido *et al.* (2014) pois, ao utilizar o recurso do financiamento, o dinheiro como parâmetro de equivalência se justifica.

Já o apontamento de Czernigowska (2008) trata de considerações a serem feitas na fase de orçamento, servindo de base para o planejamento e controle. Os apontamentos de Seppänen e Kenley (2010) e de De Marco e Narbaev (2013) se basearam em coleta de dados desintegrada, em que não utilizaram um fluxo contínuo com auxílio do BIM.

Portanto nota-se a lacuna de pesquisa no âmbito da utilização da análise do valor agregado como ferramenta de controle associada ao modelo BIM, voltado para a medição e produtividade da obra para pequenas empresas, baseadas num fluxo integrado de informações.

Dada a importância das pequenas empresas no país, do fluxo de informação no canteiro de obra para o controle da qualidade da produção e do exposto, buscou-se responder **como o modelo BIM por meio de um processo contínuo e padronizado, sem a compra de novos *softwares*, pode gerar informações para auxiliar no gerenciamento e controle da obra pela técnica da análise do valor agregado?** Desta forma estabelece-se a relevância desta pesquisa para o meio acadêmico e para a indústria da construção civil.

1.2 PRESSUPOSTOS DA PESQUISA

Para responder à questão levantada foram considerados os seguintes pressupostos:

- O modelo tem potencial de fornecer informações precisas, confiáveis e rápidas;
- O BIM possibilita o apoio as tomadas de decisão obtendo uma reação rápida a problemas de projeto ou do canteiro;
- Possibilidade do uso do BIM para análise e planejamento da construção, integração com controle de custos e cronograma.

1.3 OBJETIVOS

Propor um modelo para a inserção da análise do valor agregado no modelo BIM sem a compra de novos *softwares*, estabelecendo diretrizes de modelagem para o cálculo dos indicadores de variação de custo, variação de prazo e índice de desempenho de custo, bem como um fluxo para utilizar o modelo BIM no canteiro de obra para coletar os parâmetros requeridos de gerenciamento pela EVA.

1.4 JUSTIFICATIVA

Em 2019 a PAIC sinalizou que o número de empresas ativas no ramo, no Brasil, era de 125.067 que totalizaram uma receita bruta acima de trezentos milhões de reais (IBGE, 2021). Notou-se neste mesmo ano uma alta no índice Bovespa do setor de construção civil (B3) devido a ações do governo federal que levaram a redução dos juros do financiamento imobiliário.

Nesse contexto alavancado pelo mercado imobiliário, apontou-se a importância e o potencial da construção civil para induzir a retomada do crescimento econômico e da geração de empregos. Mesmo no cenário de pandemia o interesse em investir em imóveis continuou ativo e presente no país. Em 2020, mesmo considerando as dificuldades impostas pela chegada da pandemia, a construção foi o setor que mais gerou novos postos de trabalho com carteira assinada (CBIC, 2021).

A PAIC faz uma divisão de empresas pequenas (de 1 a 4 pessoas ocupadas), médias (de 5 a 29 pessoas ocupadas) e grandes (30 ou mais pessoas ocupadas). De acordo com a pesquisa mais de quarenta e cinco mil se enquadram em médias empresas enquanto mais de sessenta e nove mil em pequenas

empresas. Dentro das classes de atividade a maioria atua em construção de edifícios ou em serviços especializados para construção (IBGE, 2021).

É comum empresas desses portes buscarem financiamentos. A Caixa Econômica Federal por ser vinculada ao Ministério da Economia e ser uma instituição financeira sob forma de empresa pública, disponibiliza muitos programas relacionados a construção civil, entre eles o Plano Empresa da Construção Civil (CAIXA, 2021) que é um financiamento destinado a empreendedores imobiliários. Entretanto ao se contratar esse plano a Caixa só libera o financiamento conforme o andamento da obra, sendo imprescindível uma gestão minuciosa do controle da mesma.

Um dos dados que a PAIC 2019 divulga é o total de custo das obras e/ou serviços da construção, que ultrapassaram o valor de cento e vinte e sete bilhões de reais. O valor gerado pela indústria da construção evidencia a importância do setor para a economia do país. Assim transformações estruturais no setor se fazem necessárias para uma melhor organização e produtividade do canteiro de obras, além da qualificação da mão de obra.

A adoção de tecnologias de informação e comunicação se apresenta como uma solução para as transformações estruturais. Freitas e Mendes Júnior (2010) explicam que novos padrões para a gestão do fluxo de informação advêm da modernização da gestão oriunda da TIC. O que leva à necessidade entre todos os envolvidos discutirem acerca das informações necessárias, seus componentes e o momento de sua disponibilização.

A utilização da metodologia BIM no desenvolvimento do projeto aumenta sua qualidade, por ser uma representação virtual da edificação modelada de forma colaborativa com os processos padronizados, possibilitando a identificação das deficiências ainda no processo de projeto, gerando e assegurando informações mais precisas. Com esse novo processo pode-se estreitar a relação entre projeto e execução e levar/trazer de forma mais precisa as informações necessárias para/do canteiro. Sacks *et al.* (2010) afirmam que a qualidade da informação provida do modelo BIM tem efeito positivo na melhora do fluxo de trabalho na obra.

Na mesma proporção, o controle das atividades permite a antecipação dos resultados aos gestores e torna o acompanhamento mais simples, evitando surpresas no fim do mês. Para Limmer (1997) além de ser flexível a troca de dados deve ser acessível e do conhecimento de todos os envolvidos no processo, e que o monitoramento e controle de um empreendimento deve possibilitar a troca de dados

com outras atividades do projeto para antecipar desvios, permitindo a tomada de ação corretiva em tempo hábil.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Além do capítulo de introdução, que são descritos contexto e problema de pesquisa, justificativa e objetivos, este trabalho dispõe de mais 5 capítulos.

O segundo e terceiro capítulos são referentes a fundamentação teórica e revisão bibliográfica. O capítulo 2 aborda conceitos de gerenciamento e controle de obra, enquanto que no capítulo 3, conceitos sobre BIM são explicitados, iniciando pelos conceitos gerais, plano de execução BIM, nível de informação e usos do BIM.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, com a descrição da estratégia de pesquisa, o delineamento, a delimitação do trabalho, testes de validade, e a definição para a análise dos resultados.

No capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento da pesquisa, com a descrição detalhada das atividades realizadas durante os estudos, bem como seus resultados e análises. Por fim, o capítulo 6 traz a conclusão da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 GERENCIAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

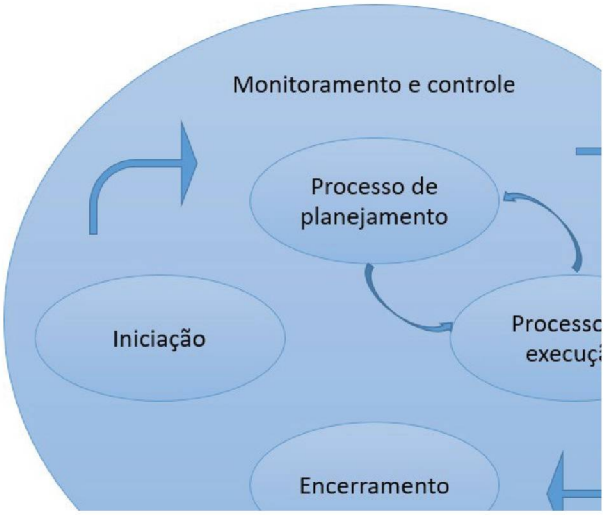
O gerenciamento de projetos vem se fortalecendo progressivamente, as organizações estão cientes de sua importância na obtenção do sucesso. Foram nas últimas décadas que o gerenciamento de projetos começou a tomar sua forma moderna, entretanto, foi no início dos anos 60 em que se formalizou como ciência (PRADO, 2014).

Segundo o *Project Management Institute* – PMI (2014), e grafado no Guia PMBOK®, gerenciamento de projetos é definido como a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas nas atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos. E projeto segundo a definição do PMI é "um esforço temporário para produzir um produto, serviço ou resultado único" e também se caracteriza por ser composto por início, meio e fim, sendo o início e término determinados.

Ainda de acordo com o guia os processos de projetos são agrupados em cinco categorias (iniciação, processo de planejamento, processo de execução, processo de monitoramento e controle e encerramento), apesar dos processos dentro das categorias serem apresentados como elementos distintos, graças à natureza integrativa do gerenciamento de projetos estas se sobrepõem e interagem entre si, destacando o processo de monitoramento e controle que fica como um processo de fundo, permeando os outros (ver figura 1). Para uma gestão de excelência o processo de monitoramento e controle é imprescindível por permitir prever ou de gerir os obstáculos que podem ocorrer durante a realização de um projeto.

O controle é a última etapa do ciclo lógico de gerenciamento de um projeto e com isso o estabelecimento de condição de retroalimentação contínua do sistema de planejamento, programação e controle, através da aferição do executado, comparando-o com o planejado na busca da determinação do avanço, detecção de desvios e definição de correções (NOVAIS, 2000; BRITO, 2015). Pois não adianta ter um amplo e complexo sistema de planejamento se o controle do mesmo não funciona, para atingir as metas do planejamento é necessário ter um bom sistema de gestão e controle.

FIGURA 1 - INTERAÇÃO ENTRE OS GRUPOS DE PROCESSOS DE GERENCIAMENTO DE PROJETO



FONTE: Adaptada de PMI (2004)

Limmer (1997) afirma que o monitoramento e controle de um empreendimento deve possibilitar a troca de dados com outras atividades do projeto para antecipar desvios, permitindo a tomada de ação corretiva em tempo hábil, além de ser flexível deve ser acessível e do conhecimento de todos os envolvidos no processo. Para Chirinéa (2018) é fundamental que o planejamento do projeto seja consistente e no detalhamento adequado ao controle que se deseja efetuar, possibilitando desta forma controlar e monitorar as atividades. Goldman (2007) explica que não existe uma prefixação de sistema ideal de controle, assim sendo, cada serviço em cada caso poderá ter uma maneira própria de ser controlado.

Pode-se dizer que o controle de obras é uma atividade de caráter preventivo em que se faz uma comparação entre o efetivo e o planejado a fim de não se permitir desvios em comparação ao previsto. É ideal para um controle eficiente a simplicidade do método e seu primeiro passo é estabelecer o que será controlado, distinguir o que é importante e o que não é (QUEIROZ, 2001).

2.1 GERENCIAMENTO PELO TEMPO

De acordo com Limmer (1997) a ferramenta que permite acompanhar o desenvolvimento físico dos serviços é o cronograma. O cronograma visa prever a data e duração das atividades e conectá-las o mais próximo possível afim de otimizar o tempo. Para Mattos (2019) o cronograma é uma ferramenta importante de gestão pela facilidade de leitura da posição de cada atividade ao longo do tempo. Com isso é necessário conhecer o projeto e as atividades a serem executadas para a correta elaboração do cronograma.

Nessa lógica é importante detalhar o planejamento de acordo com as dimensões hierárquicas, decompondo numa estrutura de atividades a serem desenvolvidas, para essa estruturação denomina-se estrutura analítica do projeto (EAP) ou estrutura da divisão do trabalho (EDT) (PMI, 2004). A identificação das atividades requer atenção especial segundo Mattos (2019) pois é nessa etapa em que o escopo total do projeto é decomposto em unidades de trabalho mais simples e de fácil manuseio. O autor ainda afirma que é preciso a colaboração de todos os envolvidos no projeto para a identificação das atividades pois se uma ou mais atividades não são constatadas podem gerar grandes problemas no futuro como atraso da obra e aumento de custo.

Dentro da EAP ou EDT existem os pacotes de serviço e os pacotes de trabalho. Conforme explica Gehbauer *et al.* (2002) os pacotes de serviço são macroatividades que contemplam as etapas de execução de uma obra e permitem a integração entre planejamento e execução, podendo servir como um instrumento para o gerenciamento e controle de todas as atividades a serem realizadas na obra.

Não se tem uma regra definida de até qual nível decompõem-se as atividades, o critério fica a cargo do grau de controle que se quer imprimir ao planejamento e em casos de obras com subcontratados é preferencial que os mesmos forneçam a EAP ou EDT por conhecerem o serviço a ser prestado (MATTOS, 2019).

Entre as ferramentas de planejamento que visam o cronograma destaca-se o gráfico de barras ou Diagrama de Gantt, foi desenvolvido por Henry L. Gantt em 1917, sendo uma das ferramentas que melhor propicia a visualização e o andamento de um projeto. O gráfico é traçado a partir da subdivisão do projeto em atividades de fácil controle, com a duração estimada de cada atividade, a partir de suas distribuições no calendário as barras são desenhadas de modo que seja possível a visualização da duração de cada atividade, suas datas de início e término. Nesse gráfico, normalmente, não são representadas as ligações entre as atividades (MAGALHÃES et al. 2018 apud MUBARAK, 2010).

Outra ferramenta de planejamento que visa o cronograma é o diagrama de rede, uma representação gráfica das atividades e suas dependências lógicas que permite a visualização clara do inter-relacionamento entre as atividades e serve de matriz para o cálculo do caminho crítico e das folgas pela técnica PERT/CPM (MATTOS, 2019). A ferramenta gerencial de diagramação de rede que visa melhorar a performance do projeto através do reconhecimento do caminho crítico e

da redução das estimativas de durações das atividades é conhecida por cadeia crítica ou método do caminho crítico.

O caminho critico é constituído pelo caminho de união das atividades críticas, que possuem esse nome por serem a sequência de atividades que produzem o tempo mais longo e que define o prazo total do projeto. Logo, a atividade crítica é aquela que não apresenta folga no cronograma, tornando seu monitoramento de extrema importância pois se uma atividade crítica sofrer atraso gera-se um atraso igual no cronograma do projeto.

De acordo com o PMI (2004) os cronogramas precisam ser acompanhados de perto e constantemente revisados para que ofereçam prazos reais baseados na evolução da obra e atualizados executando análises de desempenho reais.

2.2 GERENCIAMENTO PELO CUSTO

A gestão de custos na construção civil visa monitorar a evolução da obra avaliando suas implicações em relação ao custo final, para Salmi (2018) estimativas, planejamento dos custos, controle dos custos, contabilidade de custos e controle financeiro são algumas das diversas funções da gestão de custos na construção civil.

Na visão de Goldman (2004) a junção da EAP ou EDT com a integralização dos custos e materiais é chamado de Plano de Contas de Construção, por meio do plano pode-se obter a sistemática do controle dos materiais por serviço e a integralização dos custos e materiais, permitindo todas as possibilidades de planejamento, apropriação e controle de obras. No plano de contas proposto por Goldman (2004) há a necessidade de que todos os materiais, mão de obra, equipamentos e serviços sejam contabilizados, possibilitando a geração de dados para análises de custo de produção, dessa forma é importante o cuidado no lançamento da contabilidade dos insumos pois um erro pode originar análises e conclusões completamente ilógicas e erradas.

Segundo Salmi (2018) o que permite ações preventivas ou corretivas para evitar variações no custo final é o monitoramento e o controle proativo para prever o resultado final de um projeto com base nos custos reais. Monitoramento e controle este que durante fase de produção inclui o status da atualização do projeto e rastreia o custo do projeto, para gerenciar as mudanças na linha de base dos custos e fornecer uma previsão para todos os custos restantes (SALMI, 2018).

De acordo com Mattos (2019) a execução de um projeto está intimamente condicionada aos aspectos financeiros, em que as dimensões de tempo e custo estão relacionadas, pois a alteração de uma afeta diretamente a outra, sendo o balanço entre as duas grandezas algo que o gerente do projeto deve administrar de acordo com sua prioridade.

Dentre as técnicas existentes destaca-se a análise do valor agregado (*Earned Value Analysis*, ou EVA) por fornecer resultados precisos por meio da integração de dados reais de tempo e custo, o que possibilita a análise de variância e tendência e permite ao gerente uma clara noção da situação da obra. Dessa forma por meio de indicadores de desempenho consegue-se antever o resultado provável do projeto em termos de custo e prazo.

2.2.1 *Análise do valor agregado - EVA*

Desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos, esta técnica é amplamente utilizada como ferramenta de controle e é indicada pelo Project Management Institute (PMI) como uma ferramenta padrão para medição de desempenhos de projetos (SALMI, 2018; MATTOS, 2019)

O valor agregado de acordo com o PMI é a quantidade de trabalho desempenhado expressa em termos do orçamento definido para tal. Para Mattos (2019) funciona como um alerta, já que compara o valor do trabalho planejado com o do trabalho realmente concluído, permitindo ao gerente avaliar se o projeto tem consumido mais dinheiro para realizar determinada tarefa, ou se está gastando mais rápido porque o projeto está adiantado, com isso obtém-se um controle mais preciso que o obtido com base em registros de gastos em prazos isolados.

2.2.2 *Parâmetros da EVA*

Três dimensões são monitoradas: valor planejado, valor agregado e custos reais (SNYDER, 2014 apud SALMI, 2018). Os parâmetros da EVA, demonstrados no quadro 1, são os dados de entrada utilizados para o cálculo dos indicadores e tendências.

QUADRO 1 – DADOS DE ENTRADA DO CÁLCULO DA EVA

	Parâmetro	Abreviação	Definição	Significado
Dados de entrada	Valor Previsto ou Valor Planejado *(Planned value)*	VP	Orçamento autorizado designado ao trabalho agendado.	Valor que indica a parcela do orçamento que deveria ser gasta, considerando o custo de linha da base da atividade, atribuição ou recurso.

	Valor Agregado (*Earned value*)	VA	Medida do trabalho executado expressa em termos do orçamento autorizado para tal trabalho	Valor que indica a parcela do orçamento que deveria ser gasta, considerando o trabalho realizado até o momento e o custo originalmente orçado para esse trabalho.
	Custos Reais *(Actual costs)*	CR	Custo realizado incorrido no trabalho executado de uma atividade, durante um período específico	Mostra os custos reais incidentes para o trabalho já realizado por um recurso ou atividade, até a data de status, ou data atual do projeto.
	Orçamento completo planejado (*Budget at completion*)	OCP	Soma de todos os orçamentos estabelecidos para o trabalho a ser executado	Por quanto o projeto foi orçado, valor total planejado, usado como linha de base do projeto

FONTE: Adaptado de MATTOS (2019)

Após a definição dos parâmetros chave o desempenho do progresso do projeto pode ser determinado e analisado calculando as variações e índices (SALMI, 2018).

2.2.3 *Índices da EVA*

Conforme explica Salmi (2018) o desempenho de custo e do cronograma podem ser determinados a partir da comparação dos dados de entrada com o cálculo das variâncias correspondentes, as percentagens de variância ou índices de desempenho. O quadro 2 ilustra os indicadores de acompanhamento.

QUADRO 2 – CÁLCULO DA EVA – INDICADORES DE ACOMPANHAMENTO

	Parâmetro	Abreviação	Definição	Significado	Fórmula
Indicadores de desempenho	Variação de Custo (*Cost variance*)	VC	Quantidade de déficit ou excedente orçamentário em um determinado momento, expressa como a diferença entre o valor agregado e o custo real	É a medição da performance de custo de um projeto. Se a VC for positiva, o custo estará abaixo do valor previsto (ou linha de base); se for negativa, a atividade terá ultrapassado o orçamento.	VC = VA - CR
	Variação de Planejamento ou Variação de prazo (*Schedule variance*)	VPr	Quantidade de tempo em que o projeto está adiantado ou atrasado em relação a data de entrega planejada, em um determinado momento, expressa como diferença entre o valor agregado e o	É a medição da performance de custo de um projeto. Se a VPr for positiva, o projeto estará antecipado; se for negativa, o projeto estará atrasado em termos de custo	VPr = VA - VP

			planejado		
	Índice de desempenho de custo ou Índice de performance de custo (*Cost performance index*)	IDC	Medida da eficiência de custos dos recursos orçados expressa como a relação valor agregado/custo real	Quociente de entre quanto deveria ter custado e quanto custou. Se IDC < 1 – projeto acima do orçado; IDC > 1 – projeto abaixo do orçado; IDC = 1 projeto conforme orçado	IDC = VA/CR
	Índice de desempenho de prazo ou Índice de performance de prazo (*Schedule performance index*)	IDP	Medida de eficiência do cronograma expressa como a relação do valor agregado/ valor planejado	Quociente entre quanto deveria ter custado e o custo previsto até a data. Se IDP < 1 – projeto em atraso; IDP > 1 – projeto adiantado; IDP = 1 projeto no prazo	IDP = VA/VP
	Índice de desempenho de custo de recuperação (*To-complete performance index*)	IDPT	Métrica de desempenho de custos que deve ser obrigatóriamente alcançado com os recursos restantes a fim de cumprir uma meta especificada de gerenciamento	Desempenho que se espera a partir deste momento para recuperar o projeto financeiramente	IDPT = (OCP – VA) / (OCP – CR)
Tendência	Estimativa para o término (*Estimate to complete*)	EPT	Custo esperado para finalizar o trabalho restante do projeto	Quanto falta gastar até o final do projeto	EPT = OCP – VA EPT = (OCP – AV)/IDC ETC = (OCP – VA)/(IDC*IDP) EPT = nova estimativa
	Estimativa no término (*Estimate at completion*)	ENT	Custo total esperado de finalização de todo o trabalho	Quanto provavelmente custará o projeto	EAC = CR + EPT
	Variação no término (*Variation at completion*)	VT	Projeção da quantidade do deficit ou do excedente do orçamento	Quanto acima ou abaixo do orçamento estará o projeto	VT = OCP - ENT

FONTE: Adaptado de MATTOS (2019)

As variações de custo e planejamento podem ser expressas em curvas de agregação e comparadas com os dados de base, enquanto os índices de desempenho podem oferecer informações úteis para o gerente de projeto e ser muito eficazes nas revisões de projeto fazendo uso de gráficos.

2.3 GERENCIAMENTO PELA PRODUÇÃO

Os sistemas de planejamento e controle da produção (PCP) buscam a melhoria contínua no uso dos recursos da produção. Koskela (1992) fomentou a necessidade de amadurecimento e difusão da filosofia enxuta na realidade da construção.

A filosofia Lean provocou a quebra de antigos paradigmas gerenciais trazendo uma nova visão sobre a gestão e a medição de desempenho na construção, dando espaço à inovação e à melhoria contínua das empresas, capacitando-as a adquirir um estilo gerencial proativo e ágil frente às mudanças impostas pelos seus clientes e pelo mercado. (CÂNDIDO, 2014).

Entre as técnicas relacionadas aos conceitos básicos da lean estão o Sistema Last Planner (SLP) que de acordo com Ballard (2000) consiste em dois planos de programação *lookahead* e *work week plan* e controla a produção a partir de um indicador de eficácia do planejamento em que se mede o percentual de pacotes concluídos (PPC). E procurando explicitar os ritmos de produção e os fluxos de trabalho, conferindo uma maior visibilidade ao processo produtivo está o conceito de Linha de Balanço.

2.3.1 *Last Planner*

O *Last Planner* engloba em seu escopo de execução ferramentas e técnicas de controle e planejamento que possibilitam melhores condições de controle sobre o empreendimento. Esse sistema integra novas funções aos níveis hierárquicos do PCP, objetivando a proteção da produção a partir do aumento de confiabilidade dos planos gerados (BALLARD, 2000).

O planejamento *lookahead* tem a função de trazer recursos e informações para a produção, através do controle da unidade de produção melhora-se os pacotes de trabalho, definindo sequência e quantidade adequada, identificando e removendo as restrições (BALLARD, 2000). Para o autor este planejamento contém o trabalho que pode ser feito em caráter de programação para as próximas semanas.

A *work week plan* consiste na programação semanal baseada nos pacotes de trabalho do *lookahead* que já tiveram suas restrições removidas, sendo definidas pela equipe de trabalho. O planejamento dos pacotes de trabalho semanais contém o trabalho que será feito (BALLARD, 2000). Ao final da semana é feito um controle de produção medindo o PPC, sendo contabilizados pela razão entre o número de

pacotes concluídos pelo número de pacotes planejados. Aquelas tarefas que não foram realizadas na programação semanal entram novamente no processo de planejamento, enquanto aquelas que foram concluídas entram no trabalho feito.

O PPC representa a confiabilidade do plano por funcionar como indicador de eficácia. Muitas vezes as interdependências entre tarefas programadas não são identificadas, o que tem de ser realizado através da quebra das tarefas em um maior grau de detalhe (BALLARD, 2000). A redução do tamanho das tarefas tende a aumentar a transparência e a comunicação.

2.3.2 *Linha de Balanço*

A linha de balanço permite levar em consideração o fluxo de trabalho da construção graças a utilização de diagramas com linhas para representar diferentes tipos de atividades em diferentes localizações. É representando em um diagrama onde se dispõe a escala temporal ou calendário no eixo das abcissas (X) e as localizações no eixo das ordenadas (Y). As atividades são representadas por linhas traçadas em função das variáveis referidas e inclinadas de acordo com o ritmo de produção (SEPPANEN; KANKAINEN, 2004).

Pelo diagrama é possível identificar deficiências no planejamento como se a mesma atividade está acontecendo em diferentes localizações, diferentes atividades começando ao mesmo tempo na mesma localização, localizações com altos períodos sem atividades ou atividades diferentes com o prazo de finalização na mesma data e localização, ou seja, é possível identificar a localização das equipes de trabalho para uma determinada data, o intervalo de tempo que separa as diferentes equipes de produção, e os seus ritmos de trabalho (JONGELING, 2007; SEPPANEN; KANKAINEN, 2004).

2.4 GERENCIAMENTO COM O BIM

O planejamento da construção para usar uma quarta dimensão (4D) requer uma vinculação do planejamento de construção, associação de seu modelo 3D ao tempo, e a complementação do modelo com objetos de equipamentos de construção. Dessa forma o modelo 4D de uma edificação possibilitará simular o processo de construção, pois as tarefas que compõem o cronograma da construção são associadas aos componentes ou partes do modelo 3D, permitindo, assim, a visualização da sequência de execução, e mostrar a aparência da construção e do canteiro em qualquer ponto no tempo. Essa simulação gráfica proporciona uma

compreensão considerável sobre o processo de produção, contribuindo para o entendimento de problemas e oportunidades para melhoria, apoiando assim a tomada de decisão (KYMMEL, 2008 apud BIOTTO *et al.,* 2015).

De acordo com Sacks *et al.* (2021) uma vez que o BIM fornece um modelo preciso do projeto e dos recursos materiais requeridos para cada segmento de trabalho, pode servir como uma plataforma para a integração de diferentes aspectos da informação da construção; ao utilizar a modelagem 4D ele proporciona a base para melhoria do planejamento e no cronograma, por seu processo iterativo de geração, análise e compartilhamento de informações.

Segundo Bataglin *et al.* (2018) para que o gestor e usuários em potencial possam tomar decisões baseando-se no modelo 4D, esse precisa ter um escopo de informações bem definidas, úteis e compreensíveis, com isso a modelagem deve ser feita de forma a contribuir para a criação de um ambiente adequado para a introdução de processos colaborativos nas reuniões de planejamento e usada para disseminação de informações relevantes. Ainda para os autores os modelos BIM podem ser utilizados para integrar e atualizar as informações como o status da obra e a disponibilidade de peças na expedição da fábrica.

Acerca das informações contidas no modelo a série ISO 19650 trata dos conceitos e fundamentos para a gestão da informação ao estágio de maturidade descrito como “modelagem da informação da construção (BIM), recomendando uma estrutura de gestão da informação incluindo a troca, registro, versionamento e organização para todos aqueles envolvidos em qualquer ambiente de trabalho.

Dessa forma o gerenciamento com o BIM envolve mais do que a associação de ferramentas tradicionais de planejamento ao modelo, envolvem o trabalho colaborativo, e a gestão da informação, tornando os modelos ricos em dados, a partir dos quais visões e informações necessárias a diferentes usuários podem ser extraídas e analisadas, conforme explica Sacks *et al.* (2021)

> O BIM está levando o setor da construção do nível atual – a automação de tarefas de processos de projeto, baseados em papel - a um fluxo de trabalho integrado e interoperável, no qual essas tarefas são reunidas em um processo coordenado e colaborativo que aproveita ao máximo os recursos de computação, a comunicação na web e a agregação de dados na captura de informações e conhecimentos. Tudo isso é utilizado para simular e manipular os modelos digitais a fim de gerenciar o ambiente construído dentro de um processo de decisão replicável e verificável que reduz o risco e melhora a qualidade das ações e produtos em todo o setor da construção.

As definições e explicações sobre o BIM assim como trabalhos desenvolvidos utilizando os modelos para o gerenciamento de obras serão descritos no capítulo 3.

3 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

A Modelagem da Informação da Construção, em inglês, *Building Information Modelling* (BIM), surgiu na década de 70 como resultados de pesquisas cientificas que buscavam melhorar a tomada de decisão devido à crescente quantidade de informações disponíveis e às novas exigências como segurança, certificação ambiental, sustentabilidade e conforto, esperadas para o mercado (CAMPESTRINI *et al.* 2015).

Nos processos em BIM se tem a semântica contextual inteligente com a qual os objetos são definidos em termos de elementos e sistemas de construção, como espaços, paredes, vigas e colunas (AZHAR, NADEEM *et al.* 2008). Isso permite que o modelo BIM tenha as informações interligadas pelas relações paramétricas, ou seja, as alterações feitas são processadas em tempo real em todo o modelo e não apenas na vista em que se está trabalhando, dinamizando o processo e evitando a propagação de erros como descrito por Azhar, Nadeem *et al.* (2008).

Quando se pensa em BIM desta forma acredita-se em uma redução de 2% a 5% de custos apenas, pois o ganho que se tem é o envio de projetos totalmente compatibilizados para a obra. Dessa forma é possível identificar o uso do BIM apenas como uma ferramenta no processo de desenvolvimento de projetos que é executado de forma segmentada em anteprojeto, projeto básico e projeto executivo (CAMPESTRINI *et al.* 2015).

Eastman *et al.* (2014) sugerem que a revolução da indústria da construção está no " i " do BIM pela quantidade de informação acessível que o modelo disponibiliza para o uso. A riqueza de informação permitiu mudanças drásticas nos processos de projeto e construção, sendo apenas o início da mudança a forma com que os edifícios são operados durante sua vida útil.

De acordo com Gaspar (2019) ao longo do tempo foram atribuídas diversas definições ao acrônimo BIM e para conseguir padronizar os significados o autor elaborou três postulados para auxiliar na compreensão dos significados atribuídos ao termo. São eles I (processos de gestão), II (uso de modelos) e III (sistemas), e estão descritos abaixo:

I - Compreensão do termo a partir do eixo Tecnologia-Processos, dando origem a definições que expandem o uso do termo para além dos

domínios estritamente computacionais e tecnológicos relacionados ao setor da construção civil, levando-os até os limites dos processos de gestão de negócios e da indústria da inovação;

II - Especificação sob a ótica das etapas do ciclo de vida de um empreendimento (projeto, construção e operação). Com viés atrelado ao uso de modelos digitais de uma construção, de acordo com os objetivos de cada agente; a partir desta compreensão, conceitos ligados a processos, políticas e inovação ficam no plano de fundo.

III - Significado relacionado à criação e utilização de sistemas computacionais que auxiliam o desenvolvimento de projetos, disponibilizando aos usuários ferramentas que o incentivam, ou induzem, a projetar com o método de modelagem orientada a objetos. Utilizando os elementos criados tridimensionalmente para representar o ambiente construído.

A partir dos postulados percebe-se que Azhar, Nadeem *et al.* (2008) consideram o BIM como uso do modelo (postulado I) e explicam que no modelo BIM deixa de existir um desenho que representa a edificação e passa-se a ter a construção virtual do modelo. Isso acontece devido à parametrização dos objetos a qual nos permite para cada elemento construtivo especificar parâmetros geométricos como espessura, comprimento e altura, como também outros parâmetros seja o material utilizado, custo do material ou custo de produção, ou um novo parâmetro criado por quem está modelando.

Campestrini *et al.* (2015) destacam que "ao passo que se BIM for entendido como mudança de processo (envolvendo mudanças de cultura, hábito e pessoas) teremos inúmeros projetos para uma única edificação, sendo possível reduções de custos potencialmente 10 vezes maiores".

Esta afirmação esta de acordo com a definição de Succar (2009) em que o autor define BIM como um conjunto inter-relacionado de políticas, processos e tecnologias que geram uma metodologia para gerenciar a essência de projeto da edificação/construção e dados associados num formato digital, em todo ciclo de vida da edificação. Estas definições estão alinhadas ao postulado I.

Segundo Gaspar (2019) a definição cunhada no postulado I em que se entende BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos que abrangem todas as fases do ciclo de vida da edificação a fim de produzir, comunicar e analisar é constituída a partir de um enquadramento teórico

proposto a partir da primeira definição feita por Eastman *et al.* (2014) em que os autores demonstram suas crenças de que BIM não é uma coisa e nem um tipo de software e sim uma atividade humana que, em última instância, envolve mudanças no processo de construção.

A mudança no processo de trabalho em BIM entende-se pela necessidade de colaboração entre todos os envolvidos ou *stakeholders* (proprietário, arquiteto, engenheiros, fornecedores, contratados) durante todas as fases do ciclo de vida da edificação, em que contribuem com os aspectos e informações da sua disciplina (arquitetura, estrutura, hidráulica, operação e manutenção, entre outras) dentro de um único modelo virtual, o qual irá servir de base do processo. De acordo com Sacks *et al.* (2021) o BIM melhora os processos de trabalho de muitos atores do processo construtivo, ainda que não façam o uso direto do BIM.

Conforme explica Eastman *et al.* (2014), no BIM os papeis e a forma da equipe se relacionar são modificados pela incorporação das funções necessárias para modelar o ciclo de vida da edificação que, quando implementadas de maneira colaborativa, facilita o processo de projeto e construção integrado, resultando em melhorias no produto final. Segundo Campestrini *et al.* (2015) a colaboração pode ser entendida na forma como os integrantes da equipe de projeto se relacionam, estando diretamente ligada às contribuições ao projeto, em que colocam como prioridade a meta do projeto, deixando em segundo plano as necessidades como profissionais e/ou empresa.

Por se tratar de uma mudança de processo de trabalho surgem também algumas dificuldades de implantação e documentações legais. Para Succar (2009) a implantação do processo BIM pode ser dividida em três níveis de maturidade considerando a condição anterior à implementação como pré-BIM e o objetivo final é denominado IPD do inglês *Integrated Project Delivery* (entrega integrada de projetos), conforme figura 2.

FIGURA 2 - NÍVEL DE MATURIDADE



FONTE: Adaptado de Succar (2008)

A maturidade do BIM é identificada como uma série de estágios que as partes interessadas precisam implementar de forma gradual e consecutiva, os efeitos da maturidade BIM no ciclo de vida do projeto envolvem a duração da fase, sobreposição de fases e riqueza semântica do modelo (SUCCAR, 2009). Para o autor o estágio final, IPD pode ser compreendido por indústria, em que representa o BIM como o domínio da junção de tecnologias, processos e políticas. A colaboração no IPD envolve as ideias de todos os participantes para otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência através de todas as fases do projeto, fabricação e construção.

Campestrini *et al.* (2015) destacam que a integração do conhecimento de construção se faz necessária no processo de projeto e as empresas que incorporarem o conhecimento de construção desde o início serão as mais beneficiadas, pois é preciso analisar desde o início dos estudos de viabilidade técnico-financeira até o uso e operação da edificação como se desenvolve um empreendimento da construção civil.

O projeto final tende a ser melhor quanto mais informação sobre a edificação for utilizada durante o seu desenvolvimento, as decisões de detalhe do produto e fabricação no canteiro de obras precisam ser feitas simultaneamente, pois quando ocorre a sinergia entre o projeto do processo e o projeto do produto permite-se mais flexibilidade nas soluções e antecipação de problemas. De maneira geral pouco se atenta ao projeto do processo produtivo, iniciando a obra com o que se entende como projeto, o conjunto de pranchas contendo desenhos de arquitetura, estrutura, fundação, instalações, detalhes executivos, especificação de materiais (CAMPESTRINI *et al.* 2015).

A tendência é que as mudanças cheguem no canteiro de obras de forma que os projetos possam ser personalizados para tarefas especificas nas quais eles serão usados (EASTMAN *et al.* 2014). Para que isso ocorra é preciso ter definido diretrizes do uso do BIM.

3.1 USOS DO BIM

Kreider e Messner (2013) definem os usos do BIM como "um método de aplicação de Modelagem da Informação da Construção durante o ciclo de vida de uma instalação para atingir um ou mais objetivos específicos" e classificam os usos

com base no propósito de implementação do BIM. Os autores ainda esclarecem que o BIM não muda o propósito, apenas os meios pelos quais o propósito é alcançado.

Os usos do BIM são categorizados em cinco objetivos principais e podem ser decompostos em 18 sub-objetivos para a implementação (figura 3). Usando as definições de propósito, pode-se comunicar com precisão o porquê da implementação e posteriormente à determinação da finalidade consegue-se elaborar as características do uso detalhadamente (como elemento de instalação, fase de instalação, disciplina do autor ou nível de desenvolvimento), dessa forma o Uso do BIM é identificado com mais precisão (KREIDER e MESSNER, 2013).

FIGURA 3 – USOS DO BIM

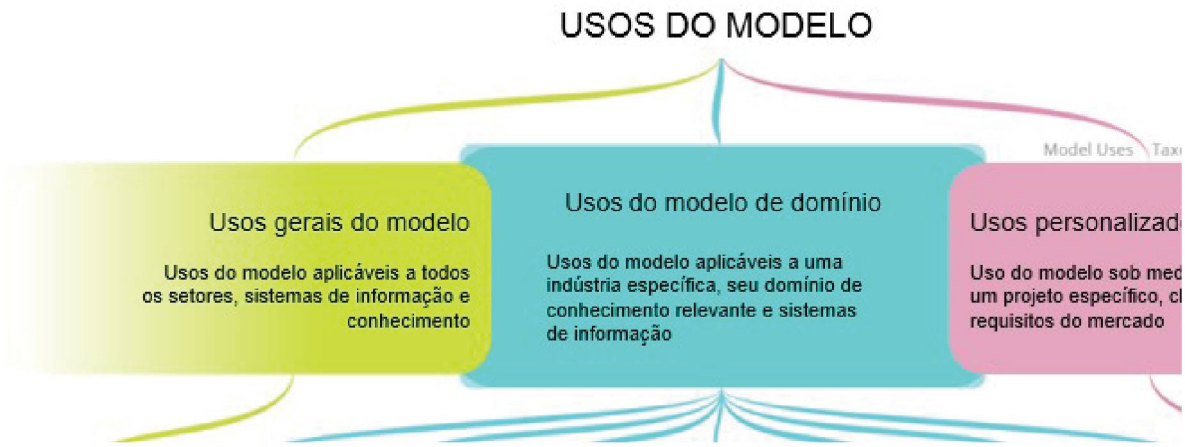


FONTE: Traduzido de Kreider e Messner (2013)

Succar *et al.* (2016) a partir da taxonomia do 'uso do BIM' expandiram a partir da prática o conceito de uso do modelo, representando uma partida conceitual e um termo abrangente englobando vários setores e seus variados casos de uso baseados em modelo. De acordo com os autores o termo 'uso do modelo' foi adotado por Kreider e Messner (2013), os pesquisadores que popularizaram o termo usos do BIM.

Segundo a BIMe Initiative (2021) os usos do modelo identificam e agrupam os requisitos de informação que precisam ser entregues, e são agrupados em três categorias (modelos de uso geral, modelo de domínio e modelo personalizado) e nove séries. E utilizam a taxonomia e lista dos usos do modelo propostos por Succar *et al.* (2016) (figura 4).

FIGURA 4 – USOS DO MODELO



FONTE: Traduzido de Succar *et al.* (2016)

Dentre as áreas de aplicação do BIM para os construtores expostas por Sacks *et al.* (2021) a aplicação da análise de valor agregado se enquadra na integração com controle de custos e cronogramas. De acordo com a classificação da BIMe Initiative (2021) o uso do modelo para análise de valor está na categoria de domínio na área de planejamento e design (competência de operação). É o uso de modelo que representa como os modelos 3D são usados para realizar exercícios de gerenciamento de valor.

Conforme demonstra Kreider e Messner (2013) os usos podem ser adotados durante o desenvolvimento do Plano de Execução BIM ou para melhor permitir o estabelecimento de requisitos, ou então para padronizar processos e terminologia de troca de informações. De acordo com Succar *et al.* (2016) em sua essência os usos do modelo traduzem os requisitos quantificáveis do projeto (entrada) em saídas mensuráveis. Dessa forma cada uso do modelo representa um conjunto pretendido de saídas do projeto a partir da geração ou troca de informações do projeto modelado.

3.2 INFORMAÇÃO NO BIM

Segundo Succar *et al.* (2016) os usos do modelo esclarecem quais informações são incorporadas ou trocadas. De acordo com a ISO 19650-1 informação é a representação, reinterpretável, de dados em um formato adequado para comunicação, interpretação ou processamento. Para a norma na fase de entrega e gestão do ativo aumenta-se a quantidade de informação contida nos modelos.

Para Deritti (2021) no BIM o nível de qualidade da informação dependerá do propósito final de cada entrega, e para tal é preciso um gerenciamento eficaz das informações. De acordo com o autor o controle das informações que são modeladas é necessário para obter um projeto com mais qualidade e para facilitar a tomada de decisão.

Sacks *et al.* (2021) explicam que a facilidade com que se pode agregar informações nos modelos pode acarretar especificações exageradas sem necessidade e para a implementação eficiente de um projeto é crucial a determinação apropriada do nível de detalhe do modelo (*level of detail* – LOD). Porém o termo nível de detalhe foi substituído por nível de desenvolvimento (*level of development* - LOD), mantendo-se a mesma sigla, pois dessa forma enfatiza-se que o nível de detalhamento talvez não aumente mesmo que o projeto tenha passado para a próxima fase projetual.

3.2.1 *LOD*

De acordo com BIM Fórum (2020) a especificação de nível de desenvolvimento é uma ferramenta de referência que visa melhorar a qualidade da comunicação entre os usuários sobre as características dos elementos dos modelos.

São interpretações dos níveis sugeridos pelo *American Institute of Architects* (AIA), que descrevem os requisitos de entrada e informação, fornecendo exemplos gráficos dos diferentes níveis de desenvolvimento de uma ampla variedade de classes de elementos de construção, entretanto cabe as equipes prescrever os níveis de desenvolvimento necessários para as diferentes etapas do processo de construção (BIM FÓRUM, 2020).

Existem outros guias com especificações de LOD e eles variam quanto aos níveis, enquanto o BIM Fórum contém 6 níveis, a PAS 1192-2 por exemplo possui 7 já a AIA-G202-2013 considera 5 níveis e o caderno BIM de Santa Catarina também fazem a classificação em 7 níveis. A figura 5 demonstra como os guias classificam o nível de desenvolvimento quanto a sua finalidade e qualidade da informação (ONEDA, 2017 apud DERITTI, 2021).

FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÕES DE LOD

PAS-1192-2	AIA-G202-2013	BIM Forum	SC- Caderno BIM		Descrição
LOD 1			ND 0	Levantamento de dados	Levantamento de informações, progra informações não gráficas
				Programa de necessidades	
				Estudo de viabilidade	
LOD 2	LOD 100	LOD 100	ND 100	Estudo preliminar	Estudo de volumetria da edificação. Estimativas de custos para construção.
LOD 3	LOD 200	LOD 200	ND 200	Anteprojeto	Elementos do modelo genéricos conten quantidade, tamanho, forma, localização
LOD 4	LOD 300	LOD 300	ND 300	Projeto legal	Elementos do modelo de projeto cont quantidade, tamanho, forma, localização
		LOD 350	ND 350	Projeto básico	Coordenação de conflitos entre disciplina
LOD 5	LOD 400	LOD 400	ND 400	Projeto executivo	Elementos do modelo de projeto cont quantidade, tamanho, forma, localizaçã conflitos entre disciplinas. Detalhes instalação. Planejamento e orçamento d
LOD 6	LOD 500	LOD 500		Liberação da obra	Elementos do modelo de projeto preciso
				Contratação da obra	

FONTE: Oneda (2017)

Segundo Sacks *et al.* (2021) os guias de LOD são ferramentas simples e práticas para a especificação do escopo do trabalho, mas apesar da sua popularidade os guias não conseguem fornecer definições explícitas sobre os requisitos de informação.

3.2.2 *Requisitos de informação*

Para se adquirir todas as informações necessárias de uma fase a outra ou de uma aplicação a outra, é preciso uma especificação explicita das informações. O conjunto de itens de informações explícitas necessário a um processo específico é chamado de requisito de informação (SACKS *et al.,* 2021).

A ISO 19650-4 define requisitos de informação como a especificação para o quê, quando, como e para quem a informação deve ser produzida. De acordo com a norma para que a organização alcance os seus objetivos com o ativo e/ou projeto, o contratante deve saber que informação é necessária e pertinente.

A norma explica quatro diferentes tipos de requisitos de informações, duas para as partes interessadas e duas contratuais, todas interligadas entre si conforme sua hierarquia, para gerarem as informações entregáveis.

3.2.3 *Nível necessário de informação*

A norma NBR ISO 19650-1 utiliza o termo nível necessário de informação (tradução de *level of information need*) no qual o propósito do uso da informação que determinará o nível necessário para cada pacote de entrega e para tal é

necessário a definição adequada de qualidade, quantidade e granularidade da informação.

Conforme explica a norma o novo termo é o correto pois os termos comumente utilizados para definir as informações a serem modeladas, como *level of development, level of detail* e *level of information* não eram claros quanto às necessidades de informação em um modelo de acordo com seu uso.

Para a norma a granularidade da informação alfanumérica (dados) deve ser considerada como no mínimo tão importante quanto a informação geométrica, porém ela não está relacionada à relevância da entrega da informação. O nível necessário de informação é, no entanto, altamente relacionado à estratégia de federação.

3.3 INTEROPERABILIDADE

Existem diversas maneiras de compartilhar e trocar dados, sendo fundamental ao gestor entender claramente os benefícios e limitações de cada método para gerenciamento efetivo do processo de trabalho, garantindo assim a interoperabilidade. A interoperabilidade é a capacidade de troca de dados entre aplicativos e de contribuir para múltiplas aplicações atuem de forma conjunta, estabilizando o fluxo de trabalho e, por vezes, facilita sua automação (SACKS *et al.,* 2021).

Para Sacks *et al*. (2021) métodos distintos de intercâmbio de dados são necessários para resolver diferentes tipos de problemas de interoperabilidade, em que se precisa compreender as vantagens e limitações de cada método para selecionar corretamente na resolução dos diferentes problemas de interoperabilidade. Conforme explicam os autores os intercâmbios podem ser classificados como ligações diretas, baseados em arquivo e baseados em um servidor modelo.

De acordo com o caderno BIM (2018) a interoperabilidade visa diagnosticar a eficiência dos aplicativos BIM no que tange, sobretudo, a troca de dados entre os diferentes softwares. E para que se alcance uma boa interoperabilidade (eliminação da réplica de dados de entrada) é indispensável a implementação de um padrão de protocolo internacional de trocas de dados nos aplicativos e nos processos do projeto.

Pelo fato de o BIM não ser uma plataforma ou uma tecnologia propriamente dita, e para que exista uma comunicação eficiente entre diferentes softwares, foi

necessário o desenvolvimento de um padrão de descrição das informações. Com isso inúmeros desenvolvedores embasaram os softwares nas premissas e normativas advindas de estudos da buildingSMART que fomentaram a descrição digital IFC (DERITTI, 2021).

O IFC (*Industry Foundation Classes*) segundo buildingSMART International (2013) (BSI) é uma especificação aberta (ISO 16739-1: 2018) e neutra para a modelagem de informações BIM. A especificação do esquema IFC é o principal produto técnico da BSI para cumprir seu objetivo de promover o openBIM. Ou seja, o IFC é um esquema de dados que permite uma maneira estruturada e padronizada para definir os tipos de informações contidas nos objetos e outros aspectos elaborados em diferentes softwares sem perda ou distorção de dados e informação. Dessa forma, os fabricantes de objetos podem colocar informações sobre seus produtos de acordo com as regras da ISO 16739: 2013.

Conforme explica a bSI o esquema conceitual IFC é definido na linguagem de especificação de dados EXPRESS e/ou XML, a especificação do esquema pode descrever como um recurso ou instalação é usado, como é construído e como é operado.

Por ser um modelo de dados extensível e orientado a objetos, as entidades-base no IFC podem ser elaboradas e especializadas por subtipos para criar qualquer número de subentidades. Todas as entidades individuais são baseadas num IFC raiz (*IfcRoot*) e são constituídos por três categorias fundamentais: objetos (associados à geometria), propriedades (definição de materiais, desempenho e propriedades contextuais) e relações (classificações abstratas entre objetos e entre objetos e propriedades) (SACKS *et al.,* 2021).

De acordo com a bSI um subconjunto do esquema de dados e dados referenciados é referido como uma definição de visualização de modelo (*Model View Definition* – MDV). Uma definição de visualização de modelo específica é definida para oferecer suporte a um ou mais fluxos de trabalho reconhecidos no setor de construção de edifícios e gerenciamento de instalações. Cada fluxo de trabalho identifica os requisitos de troca de dados para aplicativos de software, a especificação dos requisitos de informações é chamada de manual de entrega de informações (*Information Delivery Manual* – IDM).

Sacks *et al.* (2021) expõem que o sucesso do intercâmbio de dados passou a ser relacionado com os requisitos de informações sobre tarefas e fluxos de trabalho, tendo-os como fatores cruciais para tal. Segundo os autores as

informações que não são incluídas no IFC podem ser especificadas pelo IDM/MVD e adicionadas ao IFC, com isso a especificação IDM/MVD se torna tanto o início como o fim da modelagem de dados.

Deritti (2021) salienta a importância de se observar qual será o fluxo de tradução para exportação e importação das informações através do fluxo IFC ao definir o uso BIM, pois a estrutura IFC possui uma base em outras estruturas (IFD, IDM e MVD). Para o autor essas explicações e padronizações devem se encontrar no Plano de Execução BIM de um projeto.

3.4 PLANO DE EXECUÇÃO BIM

Conforme Sacks *et al.* (2021) explicam, a especificação detalhada das diretrizes recebe o nome de Plano de Execução BIM (em inglês *BIM Execution Plan* – BEP) e ela contêm a identificação dos objetivos para uso do BIM e seu alinhamento com os objetivos organizacionais; escopo e uso do BIM em todas as fases do empreendimento; papel das normas ou formatos relacionados ao BIM e ao intercambio do BIM; papéis dos participantes no processo BIM e especificação clara de qual participante será responsável por quais dados em cada ponto significativo do empreendimento.

Para o BIM Fórum (2020) um BEP bem elaborado comunicará claramente as metas do projeto a todos os membros da equipe, além de funcionar como um acordo de como o BIM será implementado ao longo do projeto para atingir os objetivos propostos. O BEP funciona como um documento que guiará a forma de se gerenciar as informações durante o ciclo de vida do empreendimento.

A norma ISO 19650 explica que apesar da gestão da informação ser uma tarefa distinta da produção e da entrega da informação elas estão extremamente ligadas, e convém que a gestão da informação seja aplicada durante todo o ciclo de vida do ativo (para a norma ativo é um item, coisa, entidade ou objeto que tem potencial de valor ou valor atual para uma organização). Pela informação ter enorme valor para contratantes, contratados e subcontratados envolvidos em atividades de gestão de ativos ou de projeto e entrega de um novo ativo as tarefas da gestão da informação necessitam ser alocadas para os grupos mais adequados.

Dessa forma o BEP precisa ser elaborado de forma clara, sem ambiguidades, focar no ciclo de vida, ou seja, pensar na implementação para todas as etapas e utilizar padrões abertos desde que façam sentido, se necessário calcular o retorno do investimento, de forma a garantir que cada membro da equipe

saiba o que se espera dele para uma entrega bem-sucedida de dados BIM (SACKS *et al.*, 2021).

A importância do BEP se dá pela especificação da estratégia de entrega e o esclarecimento de responsabilidades, formatação e cronograma, isso proporciona uma clareza para orientar os colaboradores tanto nos aspectos técnicos (requisitos de LOD, localização de origem, requisitos de entrega do projeto, restrições do projeto, etc) como os não técnicos (estrutura organizacional da equipe, montagem da equipe), com isso economiza-se tempo gasto na resolução de erros devido à falta de direção (BIMFORUM, 2020).

Partindo de um pressuposto em que o BEP seja elaborado por quem contrata, sem uma declaração explícita a respeito de qual será o significado atribuído ao termo *Building Information Modeling*, podem ocorrer divergências nos esforços e problemas relacionados ao formato, conteúdo e qualidade dos produtos entregues (GASPAR, 2019). Dessa forma o autor indica que ao dar início a qualquer trabalho relacionado ao BIM torne-se explícita para todos os participantes do projeto qual definição sobre o termo BIM será utilizada, com isso criar-se-á um consenso sobre o significado atribuído ao termo. Pois o documento gerado irá conter uma série de instruções e orientações definidas sobre o processo BIM, que são integrados durante todo o ciclo de vida do projeto.

A ISO 19650- Parte 2 fornece uma base para a implementação do BEP por se concentrar na entrega de ativos. Segundo a norma o processo de desenvolvimento do Plano de Execução BIM é composto por três partes. Na primeira etapa identifica-se os requisitos de informações gerais do projeto, enquanto que na segunda etapa define-se os requisitos de troca de informação específicos das partes envolvidas, na última etapa designa-se um líder para fornecer as evidências de que a equipe pode gerenciar as informações do projeto de acordo com quaisquer requisitos de informação fornecidos (FORD; GALLIFORD, 2020).

A fim de orientar proprietários, gerentes e primeiros participantes do projeto por meio de um processo estruturado para desenvolver planos detalhados e consistentes a *buildingSMART Aliance* (bSA), encarregada de desenvolver o *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS), desenvolveu um guia de planejamento de execução de projeto BIM. Com o intuito de fornecer um manual prático que pode ser usado por equipes de projeto para montarem sua estratégia BIM e desenvolver um BEP o guia da versão 3.0 descreve um procedimento de cinco etapas (MESSNER, 2021). As etapas estão demonstradas na figura 6.

FIGURA 6 – PROCEDIMENTO BEP



FONTE: Traduzido de (MESSNER, 2021).

O BIM Fórum (2020) destaca que para alavancar os benefícios colaborativos do BIM conforme se define no BEP entregas de projeto mais integradas como Projeto e Construção (*Design Build* – DB), Assistência ao Projeto (*Design Assist* – DA) e Desenvolvimento Integrado de Empreendimento (*Integrated Project Delivery* – IPD) funcionam melhor, portanto, necessitam ser adotados.

Conforme explica Sacks *et al.* (2021) no modelo projeto construção uma única empresa é responsável pelo projeto e construção, dessa forma a responsabilidade fica sob a contratada simplificando a participação do cliente. Assistência ao projeto é um método em que antes da conclusão do projeto profissionais são subcontratados para auxiliar a equipe no desenvolvimento dos documentos de projeto e construção (GARSKE, 2016). No caso do desenvolvimento integrado de empreendimentos de acordo com Sacks *et al.* (2021) há inúmeras abordagens já que o setor da construção ainda está experimentando esse processo, mas se baseia na colaboração entre proprietário, projetistas e o construtor desde as etapas preliminares de projeto até a entrega final do empreendimento.

3.5 BIM PARA GERENCIAMENTO DA OBRA

Todas as aplicações do BIM para construtores advêm da sua principal contribuição que é a construção virtual, a partir dela as construtoras, subempreiteiros e fabricantes podem explorar alternativas de produtos e processos, fazer alterações de peças e adaptar os procedimentos de construção com

antecedência com estreita colaboração uns com os outros, entre diferentes disciplinas. O resultado obtido por isso vem da maneira integrada como exploram a tecnologia BIM para construir o modelo virtualmente e de forma colaborativa (SACKS *et al.*, 2021).

Com o intuito de abranger a utilização do BIM para controle de custos pois, a maioria dos sistemas de controle de projeto se concentra apenas no controle dos dados de planejamento, abordando muito pouco o controle de custos Wang *et al.* (2014) exploraram como um modelo BIM pode auxiliar o controle de projeto através do desenvolvimento de um protótipo de sistema para integração de dados de planejamento e custos. Apesar do resultado positivo quanto ao fornecimento das análises e relatórios de custos baseados na análise do valor agregado, não houve a integração de pessoas e ambientes, apenas dos dados.

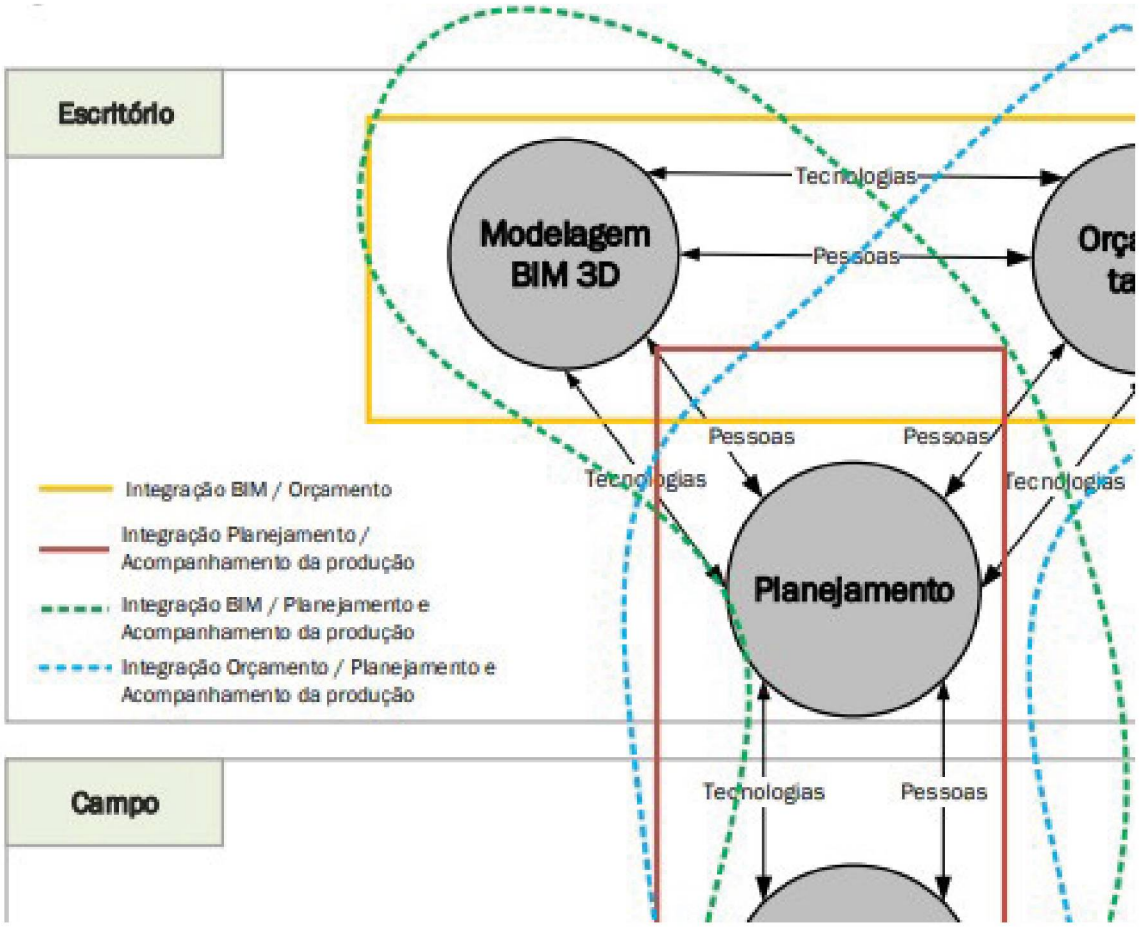
Jrade e Lessard (2015), que com objetivo de integrar BIM à técnica de análise do valor agregado, criaram um sistema integrado de gestão do tempo e custo (ITCMS), por meio dos softwares MS Project, MS Excel, Revit, Quantity Takeoff e Navisworks. Para propor um sistema que abrangesse o fluxo de informações entre os módulos de visualização, de gerenciamento de custo e tempo, de planejamento e de análise de valor agregado, os autores levantaram uma série de requisitos, tanto do ponto de vista dos usuários, como de especificações técnicas dos sistemas, para então fazer a proposição de uma metodologia de gerenciamento de projetos e processos orientados para melhoria do fluxo de informações e da colaboração entre as equipes.

O fluxo de trabalho do sistema começava na fase de projeto em que o modelo era desenvolvido de acordo com a EAP, a fim de assegurar a sincronização entre o modelo de construção e o sistema de controle de planejamento e orçamento. Esse fluxo é considerado iterativo pois o software Autodesk Navisworks é utilizado para a visualização e detecção de conflitos, dessa forma os usuários podem melhorar o modelo 5D até que seja considerado final e pronto para a fase de construção. Durante a construção este modelo é utilizado como ferramenta de coordenação para as partes interessadas de cada projeto, visualização e comunicação (JRADE e LESSARD, 2015).

Santos (2018) estabeleceu uma estrutura conceitual envolvendo quatro proposições para integração dos fluxos de informações entre os processos de Modelagem BIM, Orçamentação, Planejamento, e Acompanhamento da produção em pequenas e médias empresas, através da identificação de atividades,

informações, responsabilidades e requisitos para o desenvolvimento do modelo que resultem em melhoria na colaboração, transparência e tomada de decisão entre as partes interessadas (figura 7). Associadas às quatro proposições, foram definidas sete variáveis de análise da integração do fluxo de informações entre processos (integração o de diferentes softwares e ferramentas; uso da EAP entre os processos; comunicação entre escritório e campo; revisão e atualização de informações; automação e simplificação dos processos; responsabilidades das pessoas envolvidas; banco de dados único e fácil acesso à informação), que podem também ser entendidas como requisitos de informações para integração entre esses processos estudados.

FIGURA 7 – ESTRUTURA CONCEITUAL



FONTE: Santos (2018)

O fluxo de trabalho de informação proposto teve como objetivo integrar atividades, pessoas e software em cada um dos processos do escritório ao campo. Os softwares utilizados pela empresa eram o Revit para modelagem BIM 3D, Navisworks para simulação 4D, TOTVS para estimativa de custos, Microsoft Project

e Excel para cronograma e um software personalizado CPObras para monitoramento da obra (SANTOS, 2018).

Segundo Santos (2018) mesmo que o estudo tenha se limitado pelos softwares já utilizados pela empresa o processo de fluxo de informação integrado pode ser generalizado e replicado em virtude da EAP utilizada nos processos, permitindo a utilização de código próprio ou sistema de classificação. Dessa forma o fluxo desenvolvido serve como um guia para os agentes envolvidos.

Para que a integração ocorra de forma eficaz, a chave é a utilização de uma EAP comum a todos os processos (Modelagem BIM, Orçamentação, Planejamento, e Acompanhamento da produção), bem como o processo cíclico de troca de informações, a informação deve estar disponível e centralizada, e automatizadas sempre que possível, em uma única plataforma permitindo um entendimento fácil, além de permitir rápidas modificações das informações quando for necessário, fornecendo informações em tempo hábil para auxiliar na tomada de decisão (SANTOS, 2018).

Apesar de utilizar ferramentas integradas, no estudo de Santos (2018) na fase de geração dos dados de acompanhamento, os dados eram coletados por um software para posterior atualização do modelo BIM integrado. Como recomendação para trabalhos futuros Santos (2018) sugeriu a utilização da análise do valor agregado para acompanhamento e controle de dados de custo.

Santos *et al.* (2021) destacaram que as dificuldades encontradas durante o estudo foram as causas da fraca integração entre o escritório e canteiro de obra e também atraso no *upload* dos dados. Tais dificuldades como a falta de habilidades, conhecimentos e recursos financeiros necessários para uma implementação de alto nível, a falta de interoperabilidade entre diferentes plataformas e arquivos proprietários, percepção limitada de níveis mais altos de funcionalidade e benefícios BIM, necessidade de quebrar ou agrupar os pacotes de trabalho definidos no início do projeto devido a mudanças nas frentes de trabalho.

Com objetivo de gerir os custos integrado ao processo de planejamento e controle baseado em localização com o apoio de BIM, Sauer (2020) propôs uma divisão orçamentária com objetivo de facilitar a integração da gestão de custos ao planejamento de longo prazo e tornar o controle de custos durante a produção mais transparente e rastreável. Para isso utilizou além do modelo BIM, o software Vico Office e planilha eletrônica. Ainda que houvesse a possibilidade de erro ou perda de informação, a coleta de dados na obra era feita por meio de planilha.

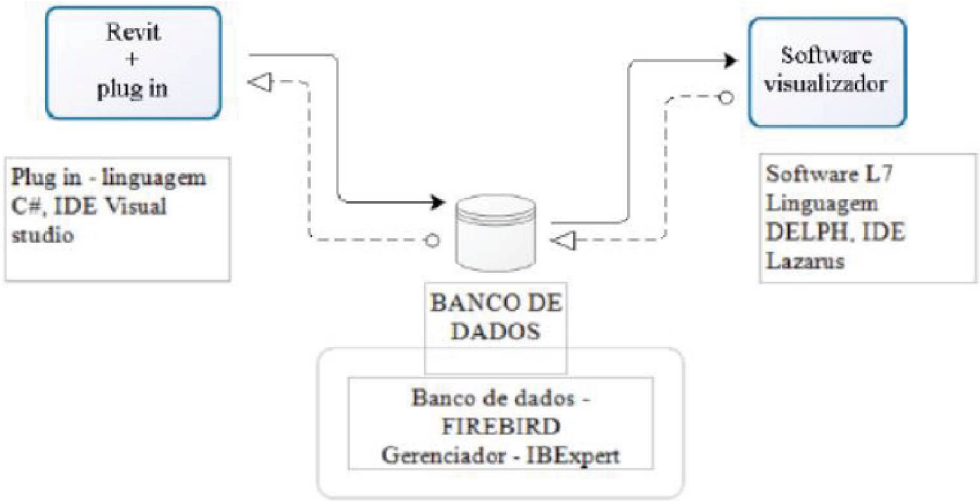
De acordo com Sauer (2020) o uso do BIM proporciona a visualização espacial dos planos, a extração automática de quantitativos e criação de um banco de dados integrado com as informações de prazo e custo, além da simulação de comparação entre planejado e executado que torna a comunicação dos principais desvios mais transparente a todos envolvidos.

Dentro da possibilidade de planejamento e controle da produção Sacks *et al.* (2021) destacam a interação entre o BIM e a construção enxuta pela promoção de conscientização que a construção enxuta vem trazendo acerca da necessidade de planejar e controlar proativamente os fluxos de trabalho, informações, materiais, equipes de trabalhadores e de equipamentos ao longo de todo o empreendimento.

Para os fluxos e processos de produção no canteiro de obra o sistema *last planner* é recomendado por reduzir a variação, melhorar a coordenação e o fluxo de trabalho, além de reduzir os desperdícios. Um sistema computadorizado com registro e relatório automatizados aplicado ao SLP torna o processo mais eficiente (SACKS *et al.* 2010). Rodrigues *et al.* (2018) propuseram então um modelo de integração entre o modelo BIM e o SPL, baseado na importância de estabelecer as necessidades de informações oriundas da aplicação do SLP com os benefícios proporcionados pelo modelo BIM, pois as mudanças propostas no processo de planejamento demandam qualidade e quantidade de informações requeridas para a tomada de decisão.

A comunicação proposta por Rodrigues *et al.* (2018) entre o modelo BIM e o SLP foi estruturado conforme a figura 8. Na adequação do modelo para a aplicação do SLP é preciso inserir um banco de dados definido pelo detalhamento da estrutura analítica do projeto que permite a formação dos planos de médio e curto prazo, as composições unitárias de cada serviço previsto no projeto, no que se refere aos insumos materiais e de mão de obra necessários à sua execução (RODRIGUES *et al.* 2018). Ainda segundo os mesmos autores o banco de dados promove a interação dos departamentos e das partes interessadas agregando informações utilizadas na formação do planejamento e controle da produção. O plug-in agregou funcionalidades capazes de promover o gerenciamento visual do planejamento *lookahead*, verificando automaticamente as restrições relativas à mão de obra, materiais e especificações de projetos.

FIGURA 8 – COMUNICAÇÃO DOS DADOS



FONTE: Rodrigues *et al.* (2018)

Rodrigues *et al.* (2018) distinguiram um sistema de planejamento e controle de médio e curto prazo mais eficientes decorrente da aproximação e melhoria da comunicação entre os departamentos de planejamento, produção, projetos e suprimentos e da verificação automática das restrições na elaboração do *lookahead* e do gerenciamento visual devido a sinergia da integração do modelo BIM com o SLP.

Utilizando o SLP para o controle e planejamento, Álvares e Costa (2019) propuseram o uso de um sistema aéreo não tripulado para o mapeamento e monitoramento do progresso da obra vinculado com o modelo BIM, pois uso de tecnologias de dados visuais pode melhorar a comunicação e a avaliação do progresso da construção. O controle dos pacotes de trabalho se deu por meio da sobreposição das nuvens de pontos, que foram processadas das imagens coletadas do sistema aéreo não tripulado, com os modelos BIM e por medições diretas em campo pela equipe do projeto. Os desvios de progresso de todos os pacotes de trabalho do projeto foram codificados com indicadores visuais de cores na simulação 4D para destacar o trabalho atrasado, adiantado e dentro do cronograma (ÁLVARES e COSTA, 2019).

Álvares e Costa (2019) relacionaram as melhorias gerais da conformidade das metas planejadas e a redução dos desvios negativos com as mudanças que puderam ser observadas durante o processo como: melhor estruturação da rotina

de planejamento no nível de curto prazo; controle de produção mais sistemático; maior participação da equipe de coordenação direta da produção no planejamento e controle, fornecendo estimativas de produção mais realistas e maior comprometimento com sua conformidade; e a resposta positiva da equipe de gerenciamento em relação ao uso das novas informações fornecidas pela implementação do método.

Dessa forma as informações fornecidas pelo método contribuíram para a melhoria do monitoramento da produção e identificação de falhas de planejamento e desvios de progresso, impactando nas tomadas de decisões sobre o planejamento de redirecionamentos e ações corretivas para desvios negativos. Com isso pôde-se ter uma melhor compreensão do impacto e do valor agregado do fluxo de informações fornecido pelo método proposto contribuindo para a redução de atividades que não agregam valor, propensas a erros e desperdícios, associadas ao processo de monitoramento do progresso da construção (ÁLVARES e COSTA, 2019).

Matthews *et al.* (2015) com a intenção de explorarem se um novo fluxo de trabalho orientado a objetos e processos para gerenciamento de progresso no canteiro poderiam ser implementados para acomodar a tecnologia BIM baseada em nuvem de maneira eficaz, propuseram a utilização de uma ferramenta já existente, o BIM 360 Field. Para monitorar o progresso em tempo real de forma que a ferramenta pudesse ser efetivamente utilizada dentro da estrutura organizacional existente da empresa em que desenvolveram o estudo de caso, primeiramente mapearam os processos.

O mapeamento aconteceu em estreita colaboração com os parceiros do setor, para atingir mesmo que de forma mínima a melhoria na tomada de decisão e na produtividade pela superposição de novas tecnologias em um processo existente, novos fluxos de trabalho foram desenvolvidos, os problemas de interoperabilidade resolvidos e foi feita a identificação de quaisquer benefícios que se materializassem com a implementação do BIM baseado em nuvem, principalmente da perspectiva do contratante. Como a mudança no fluxo de trabalho tinha o potencial de influenciar negativamente, o BIM baseado em nuvem foi realizado em paralelo com o processo existente (MATTHEWS *et al.* 2015).

Para viabilizar que as informações coletadas no canteiro e inseridas no BIM 360 Field, via iPad, fossem sincronizadas diretamente com o modelo de planejamento no software Navisworks, primeiro foram criadas propriedades para

todos os grupos de objetos possibilitando estabelecer uma regra para associar automaticamente grupos de objetos à tarefa de agendamento correta, com base no ID da tarefa de agendamento. Posteriormente o software BIM 360 Field baseado em nuvem foi personalizado, a fim de exibir as informações necessárias para monitorar o progresso, além disso listas de verificação de controle de qualidade foram implementadas e também foram criadas propriedades para as datas planejadas e reais de início e término, bem como a porcentagem concluída, para todos os grupos de objetos. Após esses passos os objetos criados foram vinculados por meio de 'Map Model', permitindo a sincronização (MATTHEWS *et al.* 2015).

Matthews *et al.* (2015) explicam que para monitorar o progresso o engenheiro responsável usando um iPad selecionava visualmente o objeto no modelo BIM e inseria a porcentagem relevante concluída para aquele momento, ao inserir os dados no modelo este era sincronizado com o modelo do Navisworks, o que dava início ao processo de geração de relatórios. Os dados de progresso de cada tarefa foram exportados do BIM 360 Field para uma planilha "cronograma de relatórios de progresso" em que era calculado o PPC de cada tarefa, andar e estrutura. Ao retornar os dados ao modelo no Navisworks obtinha-se uma simulação por cores demonstrando visualmente as discrepâncias entre o progresso "real" e o "planejado".

Utilizando não só o BIM 360 Field como o BIM 360 Glue como ferramentas de colaboração baseadas em nuvem, para transferir os dados BIM do escritório para a obra, Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018) examinaram como o BIM móvel é implementado na obra para sustentar um nível de eficiência durante a construção.

A pesquisa ação desenvolvida por Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018) focou na entrega BIM móvel de informações do projeto por meio de tablets para o canteiro de obras, os autores conseguiram identificar que por meio do uso da tecnologia possibilitada pelas práticas de BIM, os princípios da construção enxuta também são realizados simultaneamente.

Por se tratar da construção de um aeroporto e devido ao tamanho do projeto foram programadas sessões semanais com todas as partes relevantes envolvidas no processo para atualizá-los da utilização do sistema. Foi desenvolvido um padrão de uso para processos comuns a serem seguido por todo o pessoal demonstrado num guia preparado pelo departamento de BIM a fim de criar um documento de fácil acesso para todos os envolvidos no projeto (KOSEOGLU; NURTAN-GUNES, 2018).

Os modelos BIM eram compartilhados com o aplicativo de campo após coordenação interdisciplinar no escritório, dessa forma qualquer mudança de projeto ou informações de instalação com disciplinas integradas eram entregues ao local em minutos. Isso levou a uma aplicação mais rápida e correta do projeto coordenado, sem atrasos e com menos problemas no local, sem a necessidade de projetos impressos a condução da produção era feita de maneira mais precisa porque todas as informações eram facilmente encontradas nos tablets (KOSEOGLU; NURTAN-GUNES, 2018).

De acordo com Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018) as entregas de modelo BIM para a construção possibilitaram que as equipes conduzissem as instalações com a orientação de um ambiente virtual coordenado. Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018) também explicam que ao levar o BIM para o canteiro de obras com o propósito de maximizar sua eficiência, surgiu a necessidade de supervisionar essas tarefas realizadas no local.

Dessa forma o resultado positivo obtido não se concretizou apenas com a tecnologia, mas também com a implementação estratégica e transformação da organização. Consequentemente princípios enxutos foram alcançados pelo aprimoramento de fluxos de trabalho para monitoramento de recursos e desempenhos, novas maneiras de gerenciar as informações e práticas eficazes de comunicação e coordenação (KOSEOGLU; NURTAN-GUNES, 2018).

Von Heyl e Demir (2019) acreditam que há demanda por uma plataforma integradora para melhorar o intercâmbio contínuo de informações sobre projetos, produtos e recursos. Isso devido ao foco de outros estudos serem direcionados no uso de sinergias, obtenção de significado e visualização das interações entre BIM e *lean*.

A fim de alcançar a integração da informação Von Heyl e Demir (2019) desenvolveram uma plataforma chamada “LCM Digital”. A plataforma tem como objetivo: melhorar o trabalho colaborativo; harmonizar os processos de trabalho analógico e digital; compilação sistemática; preparação, análise e avaliação de informações sobre produtos, projetos e processos (big data e aprendizado de máquina); avaliação contínua de dados ao vivo; suporte automático a projetos através do fornecimento de propostas de soluções usando inteligência artificial.

A estrutura proposta é baseada em três interações BIM e *lean*, que resultam em tarefas mais realistas, com base na experiência prática, por levar em consideração durante a produção do planejamento e execução uma abordagem de

planejamento de cima para baixo, com uma avaliação colaborativa de baixo para cima da construtibilidade. Adotando uma abordagem colaborativa prática orientada para a solução, bem como uma abordagem de gerenciamento de produção planejada e controlada digitalmente (VON HEYL e DEMIR, 2019).

Para alcançar um sistema de gerenciamento visual transparente, atualizado em tempo real e que aumenta o desempenho em campo, promovendo um comportamento proativo, Von Heyl e Demir (2019) usaram as informações associadas ao modelo BIM para a análise geral do processo, no processo de planejamento utilizam o sistema *last planner*, revisões contínuas de pré-condições, planejamento *takt* e balanceamento de linha. Utilizados para traduzir as informações estratégicas do planejamento para o canteiro de obras, cartões Kanban diários são disponibilizados online com instruções de trabalho para cada operação.

Um código QR é associado ao Kanban, contendo o início e o fim de uma tarefa, os códigos são verificados com um aplicativo de smartphone pela equipe do canteiro para rastrear o status da tarefa. No momento em que o cartão é digitalizado, as informações sobre o andamento da tarefa são atualizadas na plataforma online juntamente com o modelo BIM permitindo a visualização do status das tarefas (VON HEYL e DEMIR, 2019). Dessa forma através de uma plataforma central pode-se afirmar que a vinculação sistemática de BIM e lean validam as informações e as disponibilizam de maneira oportuna e direcionada e promovem a cooperação e a comunicação entre os participantes individuais do projeto, contribuindo positivamente para a gestão social (VON HEYL e DEMIR, 2019).

Segundo Reinbold *et al.* (2019) os sistemas que integram o gerenciamento visual e o BIM envolvem informações de entrada manual pelos agentes envolvidos. O desenvolvimento da tecnologia está aumentando a possibilidade de coletar dados automaticamente, através de digitalização a laser 3D e fotogrametria, sistemas de posicionamento interno (SPI) e outras aplicações da IoT.

Reinbold *et al.* (2019) partem do princípio que para melhorar as decisões e deixá-las mais proativas sobre as ações de controle dos gerentes de projeto e dos trabalhadores pode ser alcançado ao aumentar a conscientização da situação durante a fase de produção. A utilização do SPI coleta e fornece dados que podem ser visualizados em tempo real, com isso têm o potencial para aumentar a conscientização da situação em projetos de construção e possibilitar um gerenciamento proativo em relação a colocação de recursos.

Dessa forma a integração de dados de posicionamento interno coletados automaticamente e vinculados com o planejamento, utilizando o modelo BIM para o gerenciamento visual, permitirá visualizar se o os trabalhadores e os materiais estão na posição planejada exigida pela próxima tarefa. Permitindo a agregação de valor real ao tempo gasto nos processos de produção e aderência ao planejamento e produção, e detecção de quaisquer desvios mais rapidamente do que ao usar dados de atualização de status produzidos semanalmente ou no final do dia, dando suporte ao gerenciamento de projetos e aos trabalhadores (REINBOLD *et al.* 2019).

Matté (2017) com o intuito de tornar interoperável o processo de planejamento e controle do processo físico da obra propôs um fluxo utilizando a tecnologia BIM, para isso investigou a aplicação de um modelo que coletasse informações sobre o progresso físico da obra em campo através de um dispositivo móvel e representar a evolução em uma escala de cores em software BIM 4D, método semelhante ao realizado por Matthews *et al.* (2015).

Por meio da divisão de atividades em pacotes os modelos virtuais eram modelados através de agrupamento de elementos 3D virtuais e que informavam quanto de serviço cada pacote representava. O que permitiu o controle do progresso físico com o apontamento dos indicadores de desvio como a diferença em dias entre as datas de planejamento e datas de execução de cada pacote de produção (MATTÉ, 2017).

No modelo proposto por Matté (2017) foi utilizado o Revit para a modelagem 3D, o Microsoft Project para a elaboração do cronograma, o Navisworks para a simulação do progresso físico e desvio de prazo da obra e o Excel com a função de planilha digital que contribuiria na coleta e transmissão da informação referente ao progresso físico da obra. Os dados coletados na obra eram inseridos numa planilha Excel através do dispositivo móvel. Com isso o funcionário responsável pela medição pôde se deslocar por toda a obra, observar diretamente o progresso dos pacotes de serviço e registrá-lo.

De acordo com Matté (2017) o modelo possibilitou apresentar informações semanalmente referente aos desvios de prazo da obra, através de 7 indicadores, enquanto o progresso físico foi sinalizado através de 4 indicadores e o status do progresso de cada atividade apresentados com imagens no modelo 3D.

Sacks *et al.* (2021) explicam que os avanços em equipamentos, plataformas e sistemas de informação tem facilitado o desenvolvimento generalizado das aplicações de BIM em campo que atualmente conta com três usos principais

sustentados pelos aplicativos de BIM para o canteiro de obras, entregar informações de projeto aos trabalhadores em campo, coordenar os processos de construção entre todos os parceiros de projeto, inclusive as equipes de subempreiteiros, e coletar informações sobre condições de obra.

A pesquisa realizada demonstra que muitos estudos sobre a utilização do BIM na obra convergem suas análises para métricas da *lean,* criando uma tendência para a utilização integrada dos princípios da construção enxuta com o modelo BIM. Notou-se que a utilização do modelo para o acompanhamento e controle da obra auxilia no fluxo de informação e proporciona maior agilidade nas propostas de soluções. Os estudos demonstraram que os modelos utilizados eram relacionados como banco de dados e na maioria dos estudos acessado por meio de tablet ou smartphone. O quadro 3 sintetiza as abordagens do uso do BIM em cada estudo.

QUADRO 3 – ABORDAGENS DO BIM EM PLANEJAMENTO, ACOMPANHAMENTO E CONTROLE DE OBRA

Autores	Objetivos	Usos do BIM
Wang et al. (2014)	Explorar como um modelo 5D pode auxiliar o controle de projeto	Integração de dados de planejamento e custos
Jrade e Lessard (2015)	Criar um sistema integrado de gerenciamento de tempo e custo (ITCMS)	Fonte de informação para gerenciamento visual
Matthews *et al.* (2015)	Novo fluxo de trabalho orientado a objeto para utilizar tecnologia BIM em nuvem	Monitoramento e progresso da construção
Matté (2017)	Criar um fluxo interoperável de planejamento e controle a partir da tecnologia BIM	Monitoramento e progresso da construção
Santos (2018)	Criar um fluxo de trabalho para a integração dos processos de modelagem BIM com estimativa de custo, cronograma e monitoramento	Fonte de informação para controle do projeto
Rodrigues *et al* (2018)	Integrar o modelo BIM ao sistema *Last Planner*	Fonte de informação para gerenciamento visual
Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018)	Implantar o BIM móvel para sustentar um bom nível de eficiência durante a construção	Fonte de informação para execução da obra
Álvares e Costa (2019)	Utilizar o modelo BIM para mapeamento e monitoramento do progresso da obra utilizando o SLP e nuvens de pontos	Monitoramento e progresso da construção
Von Heyl e Demir (2019)	Desenvolver uma plataforma baseada em interações BIM e *Lean* para melhorar o trabalho colaborativo	Fonte de informação do status das atividades
Reinbold *et al.* (2019)	Integrar o sistema de posicionamento interno ao modelo BIM para gerenciamento de recursos	Fonte de informação para gerenciamento visual
Sauer (2020)	Gerenciar os custos integrado ao processo de planejamento e controle baseado em localização com o apoio de BIM	Fonte de informação para controle do projeto

FONTE: Autora

O gerenciamento de uma construção inclui planejamento de tempo (cronograma), planejamento de custos, engenharia de valor, entre outras atividades chave como o gerenciamento do valor agregado. A proposta de um modelo para uso da representação e condução de exercícios de gerenciamento de valor foram abordados em alguns estudos, mas não como ferramenta para medição da obra em que os dados eram inseridos no próprio modelo do canteiro de obras. Por conseguinte, a investigação da interação dos modelos com o gerenciamento de valor agregado é plausível.

Os estudos referenciados demonstram diferentes métodos de interação dos modelos com métricas de planejamento e controle, e a inserção no canteiro, os quais servirão de guia para as proposições do presente trabalho.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta os materiais e métodos escolhidos para o desenvolvimento da pesquisa, em especial a *Design Science Research* (DSR), e como foram aderidos seus processos metodológicos nesta pesquisa.

4.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

Este método de pesquisa tem como foco do estudo a efetividade do artefato em alcançar melhorias no mundo real presente ou futuro, aplicado em contexto de cooperação ou não com os atores envolvidos. Entende-se como artefato um objeto físico ou digital, serviço, método, ferramenta, modelo, constructo, o tipo de artefato é considerado conforme a tangibilidade da pesquisa assim como o que o pesquisador está investigando (SANTOS, 2018).

É na abordagem da DSR que se encontra os fundamentos que legitimam o desenvolvimento de artefatos como um meio para a produção de conhecimentos científicos do ponto de vista epistemológico. O que faz do artefato o elemento central nas pesquisas científicas concebidas no paradigma epistemológico das Ciências do Artificial é o fato de que o seu processo de criação assim como a investigação sobre seu uso num dado contexto se caracteriza como um meio para produzir conhecimento (DRESCH *et al.*, 2015).

Santos (2018) define que o propósito explicito da *Design Science* "é criar novos artefatos que construam novas realidades", é um método em que busca estabelecer uma sequência de ações objetivando projetar uma realidade diferente, de forma a mudar a situação presente direcionando para a situação desejada. Essa é uma importante diferença paradigmática de outras abordagens, por isso usualmente utiliza-se da lógica abdutiva (figura 9), que trata da criação de valor a partir do qual novas relações e teorias podem ser estabelecidas. O autor explica que:

> "...De antemão é sabido o "valor" que se deseja criar bem como o "princípio de funcionamento" dos artefatos/serviços/sistemas. Neste caso o que está faltando seria o "quê" (ex: um artefato físico ou digital, um serviço, um sistema) sendo esta via de regra o foco da pesquisa."

FIGURA 9 – LÓGICA ABDUTIVA NA PRODUÇÃO DE UM NOVO ARTEFATO

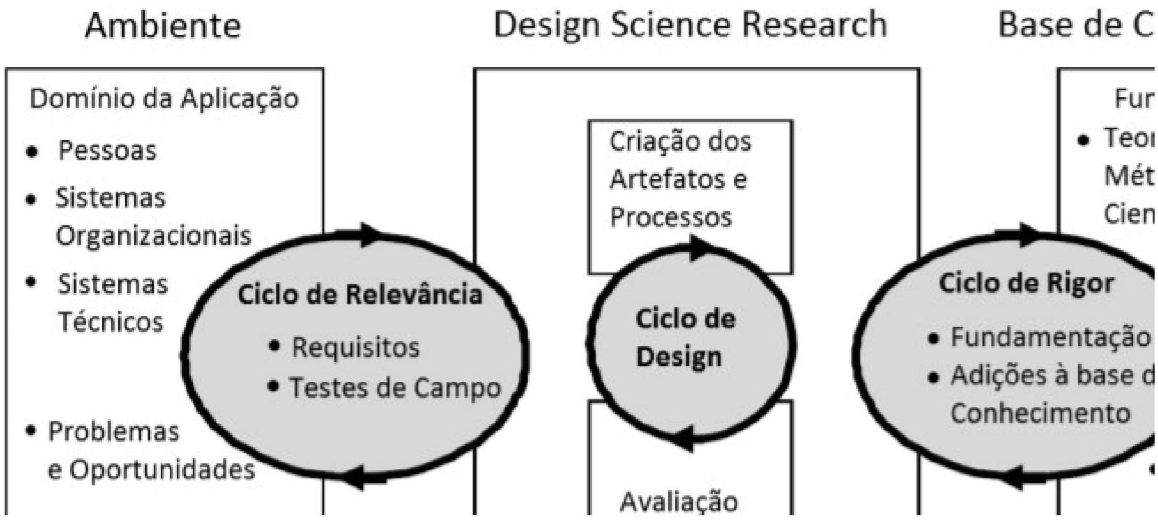


FONTE: Santos (2018).

March e Smith (1995) estruturam a pesquisa em duas dimensões que se distinguem entre resultados de pesquisa e atividades de pesquisa, em que a primeira dimensão é baseada em produtos ou artefatos (constructo, modelo, método e instanciações) enquanto a segunda se baseia nos amplos tipos de atividades de pesquisa (construir, avaliar, teorizar e justificar).

Já Hevner (2007) defende que três ciclos devem estar presentes e claramente identificáveis em um projeto de Design Science (figura 10): o Ciclo da Relevância que faz a ponte entre o ambiente contextual do projeto de pesquisa e as atividades, cujo objetivo é investigar a aceitação dos resultados alcançados com o artefato. O Ciclo do Rigor o qual conecta as atividades com a base de conhecimento de fundamentos científicos, sendo seu objetivo elaborar e avaliar as conjecturas teóricas relacionadas ao comportamento humano ou organizacional. Por fim o ciclo central, Ciclo do Design, que itera as atividades principais de construção e avaliação dos artefatos e processos de design da pesquisa, o que resulta no objetivo de projetar um artefato para solucionar um problema real em um determinado contexto.

FIGURA 10 – CICLOS DA DESIGN SCIENCE RESEARCH

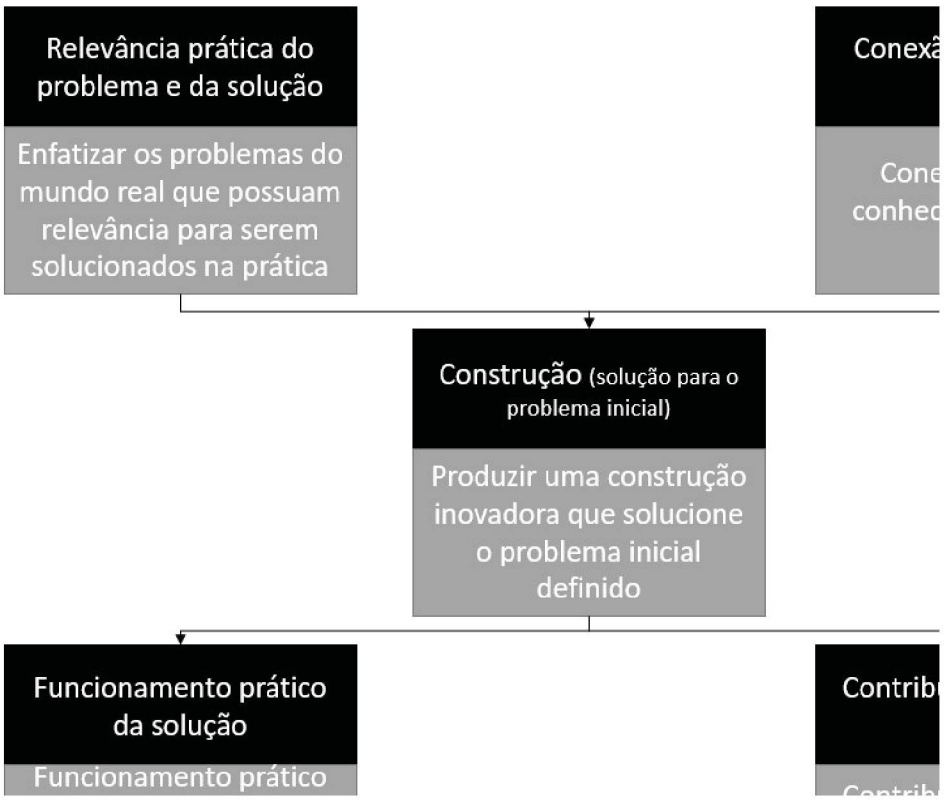


FONTE: Traduzido de Hevner (2007).

Dresch *et al.* (2015) identificam algumas etapas recorrentes entre as diferentes abordagens: Definição do problema; Revisão da literatura e busca por teorias existentes; Sugestões de possíveis soluções; Desenvolvimento; Avaliação; Decisão sobre a melhor solução; Reflexão e aprendizagens; e Comunicação dos resultados.

Para Lukka (2003) essa abordagem metodológica apresenta cinco elementos principais (figura 11) e sete processos típicos que consistem em: (1) encontrar um problema relevante que tenha potencial para contribuição teórica; (2) examinar o potencial de cooperação em pesquisa de longo prazo com a organização alvo; (3) obter uma compreensão profunda da área, tanto prática quanto teoricamente; (4) inovar uma ideia de solução e desenvolver uma construção de resolução de problemas, que também tem potencial de contribuição teórica; (5) implementar a solução e testar como ela funciona; (6) ponderar o escopo de aplicabilidade da solução; (7) identificar e analisar a contribuição teórica.

FIGURA 11 – PRINCIPAIS ELEMENTOS



FONTE: Adaptado de Lukka (2003).

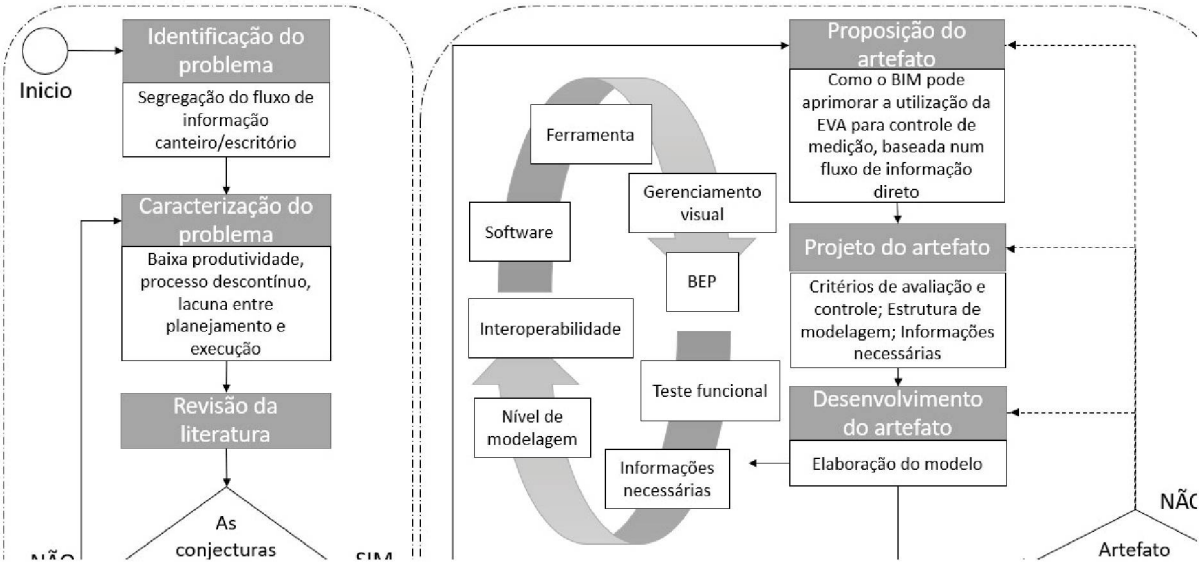
Considerando o contexto apresentado, a escolha da DSR para o desenvolvimento do presente trabalho é justificada pelo tipo do problema abordado,

o caráter da pesquisa a ser desenvolvida e o tipo de resultado pretendido. O tipo do problema abordado é real, identificado na empresa em que se obteve as informações para o desenvolvimento da pesquisa, e possui relevância para ser solucionado na prática. Por utilizar processos que envolvem a modelagem da informação da construção, que é uma tecnologia disruptiva, pode-se considerar que o caráter da pesquisa a ser desenvolvida é de inovação tecnológica. Quanto ao tipo de resultado pretendido consiste na proposição e construção de um artefato para a resolução do problema e neste trabalho o artefato proposto é um modelo de utilização do modelo BIM para a análise do valor agregado.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A partir do exposto e do objetivo apresentado - propor um modelo para a inserção da análise do valor agregado no modelo BIM sem a compra de novos softwares, estabelecendo diretrizes de modelagem para o cálculo dos indicadores de variação de custo, variação de prazo e índice de desempenho de custo, bem como um fluxo para utilizar o modelo BIM no canteiro de obra para coletar os parâmetros requeridos de gerenciamento pela EVA – foi adotado o delineamento demonstrado na figura 12.

FIGURA 12 – DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA



FONTE: Autora

As fases são baseadas nos ciclos descritos por Hevner (2007), enquanto os passos dentro de cada fase são a junção das abordagens de Dresch *et al.* (2015) e Lukka (2003). A seguir é apresentado o detalhamento das etapas adotadas no delineamento da pesquisa.

4.2.1 *Fase 1 ou ciclo do rigor*

Nesta fase, o problema de pesquisa – a lacuna de pesquisa no âmbito da utilização da análise do valor agregado como ferramenta de controle associada ao modelo BIM, voltado para o controle de medição da obra para pequenas empresas, baseadas num fluxo integrado de informações – foi identificado e para sua caracterização foram investigadas suas causas, consequências e a frequência com que ocorre.

A causa do problema de acordo com a literatura é a fragmentação do setor da construção civil e a lacuna entre processo de projeto e execução, fato que mantém características como baixa produção, com processos descontínuos, alto consumo de energia, poluição ambiental, ou seja, segue com as práticas tradicionais de mão de obra intensiva dentro do setor. A aderência às tecnologias digitais ou a chamada Construção 4.0, tem sido lenta e gradual (YOU; FENG, 2020).

Num contexto geral os esforços para diminuir a lacuna existente têm acontecido dentro dos escritórios, o que caracteriza a presente pesquisa como relevante, por investigar uma forma de aproximar o canteiro de obra do escritório e trazer vantagens competitivas para pequenas empresas construtoras e incorporadoras. Ao caracterizar o problema percebeu-se sua relevância.

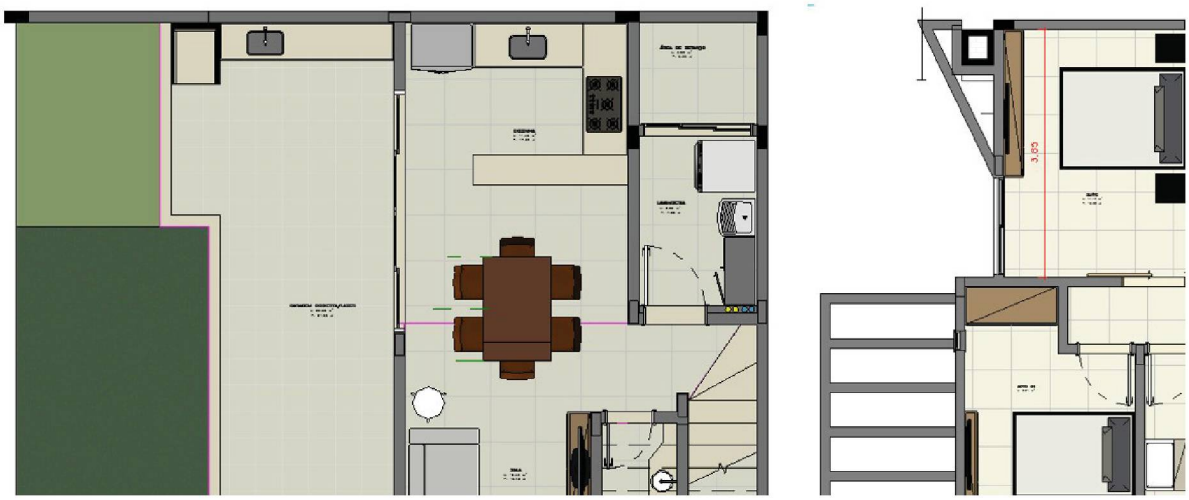
Então começaram as investigações da fundamentação teórica sobre o tema de modo a averiguar se os conhecimentos científicos se conectavam com o problema encontrado, considerando o contexto em que está envolvido (pessoas, tecnologias, organizações, cultura). Esta etapa envolveu um levantamento bibliográfico a respeito do tema que culminou na investigação de conceitos básicos relativos ao planejamento e controle da produção, gerenciamento e controle de custos, análise do valor agregado, *Building Information Modeling* e fluxo de informações.

Para a seleção da empresa participante, utilizou-se como critério o interesse pelos processos BIM ou a prévia utilização de software BIM e a estrutura organizacional/porte da empresa. O primeiro critério visava facilitar a aplicação do artefato proposto, já o segundo critério o enquadramento da empresa no foco da pesquisa.

A empresa selecionada atua no mercado de construção e incorporação da cidade de Campo Grande – MS, na presente pesquisa será citada como empresa A. No período da seleção a empresa estava executando um empreendimento

multiresidencial, constituída por seis unidades, executado em concreto armado, cuja planta humanizada dos pavimentos é exibida na figura 13. A obra contou com uma equipe própria de um engenheiro, uma estagiária e um encarregado de obra, e com uma equipe terceirizada em que a quantidade de funcionários era cíclica e variava de acordo com a etapa de execução.

FIGURA 13 – PROJETO UNIDADE RESIDENCIAL



FONTE: Empresa A

Para diagnosticar o fluxo de informações dos processos, procurou-se identificar informações tais como, softwares utilizados, procedimentos, e seus respectivos responsáveis, além de entender como se dá o gerenciamento de informações no escritório e no canteiro de obra do empreendimento estudado. Os softwares utilizados pela empresa foram: Revit da Autodesk para modelagem arquitetônica, e o Excel da Microsoft para planejamento e controle da obra.

A coleta de dados ocorreu entre fevereiro e março de 2021, com visita na obra e no escritório, além do tempo dedicado à avaliação dos documentos fornecidos. A coleta de dados buscou entender o funcionamento da empresa, assim como ao fluxo de informação referente aos processos de planejamento e controle de obras.

Foi disponibilizado pela empresa A o projeto em formato nativo do Revit (.rvt), pelo modelo foi possível verificar que se tratava apenas do modelo arquitetônico, que se constitui em um projeto básico onde os elementos são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto genérico aproximado, com quantidades, forma, localização e orientação. As disciplinas complementares não foram modeladas, apesar de ter a representação de dutos de

água modelados como elementos genéricos no modelo disponível, ou seja, não ocorreu a compatibilização dos projetos.

Também foi disponibilizada pela empresa A a planilha eletrônica utilizada para planejamento e controle de execução. A planilha é dividida de acordo com a EAP do projeto (ver figura 14), cada pacote de serviço é detalhado por unidade residencial e para cada unidade os elementos (viga, pilar, parede, etc) são identificados com um ID, sua unidade de medida, a data de execução e medição, também é exibido um gráfico com a porcentagem da tarefa executada de cada unidade e um gráfico exibindo o total executado em relação ao empreendimento todo.

FIGURA 14 – PLANILHA PLANEJAMENTO FÍSICO

		% da OBRA CONCLUÍDA				27,74%
	CUSTO DIRETO EMPREENDIMENTO	% do item em relação ao custo	Quantitativo de projeto	Quantidade executado medido	% executado medido em relação ao serviço	% executado medido em relação a toda obra
2.1	**INSTALAÇÃO DE CANTEIRO E LOCAÇÃO**	2,11%				2,11%
	LIMPEZA DO TERRENO	1,08%	0,51	**0,51**	**100,00%**	**1,08%**
	TAPUME	0,17%	0,08	**0,08**	**100,00%**	**0,17%**
	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	0,42%	0,20	**0,20**	**100,00%**	**0,42%**
	LIGAÇÃO DE ÁGUA E LUZ	0,19%	0,09	**0,09**	**100,00%**	**0,19%**
	GABARITO	0,24%	0,12	**0,12**	**100,00%**	**0,24%**
2.2	**FUNDAÇÃO**	7,98%				7,98%
2.2.1	ESTACAS					
	ARMADURAS (KG)	0,31%	723,84	**723,84**	**100,00%**	**0,31%**
	CONCRETO (M³)	3,89%	116,96	**116,96**	**100,00%**	**3,89%**
2.2.2	BLOCOS					
	ARMADURAS (KG)	0,66%	1.528,30	**1.528,30**	**100,00%**	**0,66%**

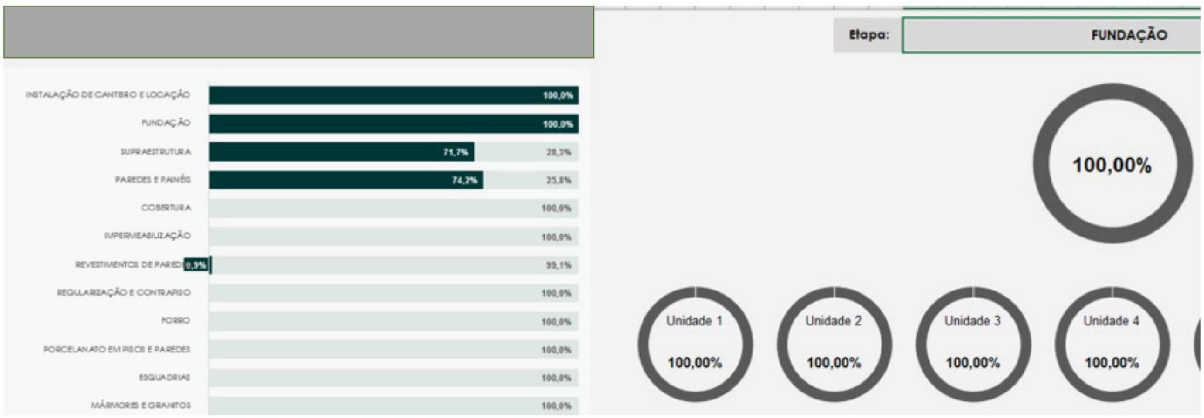
FONTE: Autora

É possível observar na figura 14 que na aba denominada produção é demonstrada a sumarização de todas as abas específicas das atividades da EAP, o custo direto do empreendimento e o custo de cada atividade (informações ocultadas para geração da imagem), a porcentagem da atividade em relação ao custo, o quantitativo de projeto, a quantidade executada que foi medida, a porcentagem executada medida em relação ao serviço (quantitativo de projeto), a porcentagem executada medida em relação a toda obra e por fim o andamento de mês a mês.

A planilha também conta com um *dashboard* (painel) sobre a situação do empreendimento. Nesse *dashboard* é disponibilizado a informação da porcentagem executada de cada tarefa da EAP de forma geral e é possível selecionar uma etapa específica para gerar um gráfico de porcentagem da etapa, geral e de cada unidade. (Ver figura 15)

Na obra é disponibilizada a versão impressa da planilha para o preenchimento durante o período de coleta de informações, a estagiária em um segundo momento preenche as informações da versão impressa para a planilha eletrônica e disponibiliza o arquivo para o engenheiro responsável. O preenchimento da planilha eletrônica é feito uma vez no intervalo de duas semanas.

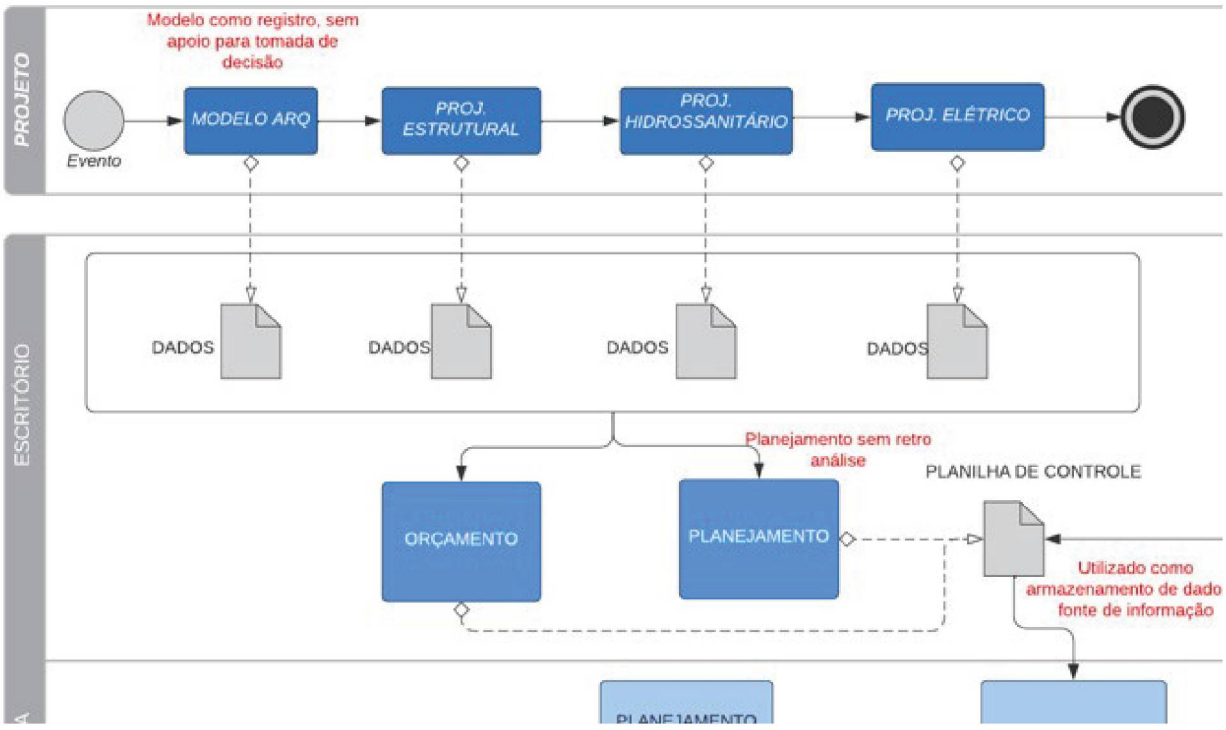
FIGURA 15 – DASHBOARD DO EMPREENDIMENTO



FONTE: Autora

Assim, com base nas análises feitas, foi elaborado um diagnóstico do fluxo de informações entre processos, demonstrado na figura 16, que serviu como um meio de identificação dos entraves da integração dos processos de modelagem BIM, planejamento e controle da obra, e para a formulação do artefato.

FIGURA 16 – FLUXO EXISTENTE



FONTE: Autora

A figura demonstra como o processo de projeto ainda é feito de forma segregada apesar de utilizarem um software BIM para a concepção do projeto arquitetônico. O orçamento e o planejamento utilizam os dados provenientes do projeto também de forma segregada para posteriormente ocorrer a junção dos dados para a criação da planilha de controle que funciona como um banco de dados. Na obra o planejamento de médio e curto prazo não possui conexão com o planejamento de longo prazo e para o acompanhamento a planilha é preenchida manualmente.

4.2.2 *Fase 2 ou ciclo do design*

Com o problema real determinado pelo diagnóstico feito na fase 1. Nesta fase objetiva-se propor e projetar o artefato, fundamentado na revisão da literatura, para solucionar o problema. Considerando a realidade da pesquisa e seu contexto, e a tangibilidade da pesquisa, o artefato proposto foi um modelo. Com isso a proposição do artefato se enquadra na tipificação de March e Smith (1995), que consiste em quatro tipos: constructo, modelo, método e instanciação.

Para a proposição foram consideradas as informações relevantes para a empresa, como se daria a interoperabilidade entre os softwares utilizados, os dispositivos a serem utilizados, a integração entre as equipes de campo, bem como o valor de investimento necessário para tal. Dessa forma foram estabelecidas as proposições teóricas de que o método deve permitir a integração das informações, software e ferramenta, e equipes dos processos de projeto, orçamento, planejamento e controle de obras, dentro dos ambientes de escritório e canteiro de obra.

Como resultado propôs-se um método para a inserção da análise do valor agregado no modelo BIM, com o objetivo de utilizar o modelo BIM no canteiro de obra para coletar os parâmetros requeridos de gerenciamento pela EVA, sem onerar a empresa.

O desenvolvimento do modelo proposto envolveu teste e adaptações das ferramentas e do modelo BIM para as soluções. Dentre os principais testes realizados foram de importação e exportação de dados entre os softwares, formatos de exportação dos arquivos, aplicativos móveis, geração de simulações associado aos dados coletados.

Por se tratar de uma fase cíclica, a representação esquemática do método proposto, os programas e ferramentas utilizadas, assim como o desenvolvimento prático com os softwares escolhidos serão descritos no capítulo 5 deste trabalho.

4.2.3 *Fase 3 ou ciclo de relevância*

Segundo Hevner *et al*. (2004) a avaliação é uma parte crucial do processo de pesquisa e o artefato pode ser avaliado em termos de funcionalidade, integridade, consistência, precisão, desempenho, confiabilidade, usabilidade, conformidade com a proposta da organização e outros atributos relevantes. Os autores ainda destacam que "a utilidade, qualidade e eficácia de um artefato deve ser rigorosamente demonstrada por meio de métodos de avaliação bem executados". As cinco formas descritas por Hevner *et al.* (2004) para avaliação do artefato são apresentadas no quadro 4.

Já Dresch *et al.* (2015) justificam as atividades de avaliação rigorosa do artefato com o intento de assegurar confiança no artefato e nos resultados obtidos com seu uso. Isso posto o artefato será avaliado a partir dos métodos de avaliação propostos por Hevner *et al.* (2004) em diferentes estágios.

QUADRO 4 – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS

Formas de avaliação	Métodos de avaliação
Observacional	**Estudo de caso:** estudo do artefato em profundidade no ambiente de negócio **Estudo de campo:** monitorar o uso do artefato em múltiplos negócios
Analítica	**Análise estática:** examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas (ex: complexidade) **Análise da arquitetura:** estudar a adaptação dentro da arquitetura técnica do sistema **Otimização:** demonstrar as propriedades ótimas do artefato ou demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato **Análise dinâmica:** estudar o artefato em uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (exemplo: desempenho)
Experimental	**Experimento controlado:** estudar o artefato em ambiente controlado para avaliar suas qualidades (exemplo: usabilidade) **Simulação:** executar o artefato com dados artificiais
Teste	**Teste funcional:** executar as interfaces do artefato e descobrir falhas e identificar defeitos **Teste estrutural:** realizar testes de cobertura de algumas métricas na implementação do artefato (exemplo: caminhos para a execução)
Descritiva	**Argumento informado:** utilizar a informação de bases de conhecimento (exemplo: pesquisa relevante) para construir um argumento convincente para a utilidade do artefato **Cenários:** construir cenários detalhados em torno do artefato para demonstrar sua utilidade

FONTE: Traduzido de Hevner *et al.* (2004)

Dentre as formas de avaliação apresentadas no quadro 4, o teste funcional e a simulação são utilizados nesta pesquisa. Os testes funcionais se enquadram pela natureza cíclica da pesquisa, logo foram utilizados durante o desenvolvimento do artefato com o objetivo de avaliar se o método proposto estava dentro dos constructos delimitados na proposição do artefato.

A simulação foi selecionada para avaliar o artefato após o término do ciclo, pois a simulação traz como vantagem ao pesquisador a ocorrência em um ambiente controlado e fechado, seja ele virtual ou físico (BRUYNE, HERMAN e SCHOUTHEETE, 1977 apud DERITTI, 2021). A simulação servirá como fonte de evidência do cumprimento do modelo para o alcance do objetivo.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por se tratar do desenvolvimento de um artefato sua análise é baseada na sua efetividade, tendo em vista seu caráter qualitativo. Para a análise dos resultados, será realizada a simulação para a confirmação ou não dos resultados esperados.

4.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho disserta a respeito da possibilidade do uso do modelo BIM como ferramenta de visualização de parâmetros para controle e monitoramento de obras.

A empresa em que está sendo desenvolvido o trabalho atua na área de obras residenciais, não englobando obras de infraestrutura urbana ou entre municípios. Como o estudo é desenvolvido na fase de execução do empreendimento, alguns requisitos analisados podem ser característicos da empresa em questão.

Os softwares utilizados no trabalho são *softwares* gratuitos ou os mesmos já utilizados pela empresa, pois tem-se como um dos objetivos não despender dinheiro para compra de novos *softwares*.

5 APRESENTAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo apresenta as etapas de desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente foram coletadas informações sobre a empresa, tanto no escritório quanto no canteiro de obra, em seguida foram analisados os documentos disponibilizados, como descrito no capítulo 4. A seção 5.1 descreve com maiores detalhes o projeto do artefato, enquanto as seções 5.2 a 5.3 tratam do desenvolvimento e avaliação do artefato respectivamente.

5.1 PROJETO DO ARTEFATO

Para a proposição do método foi analisado o fluxo de informação nos processos (conforme demonstrado na figura 16): (a) Modelagem BIM 3D, referente ao nível de detalhe do modelo comparado a EAP; (b) Planejamento, envolvendo o desenvolvimento das metas de longo prazo; (c) Acompanhamento da produção, relativa à coleta de dados e monitoramento da produção em campo. O processo de orçamento não foi analisado, apenas constatou-se que a empresa não faz uso de bases de orçamento como a TCPO ou SINAPI, mas utiliza uma base própria.

No sentido de buscar utilizar a análise do valor agregado como um parâmetro de controle de medição, este modelo propõe, que os custos sejam classificados em diretos ou indiretos. Para o controle de medição apenas o custo direto, que engloba a mão de obra e o material (insumos como cimento, areia) foram considerados, equipamentos como betoneira, não se enquadram na classificação.

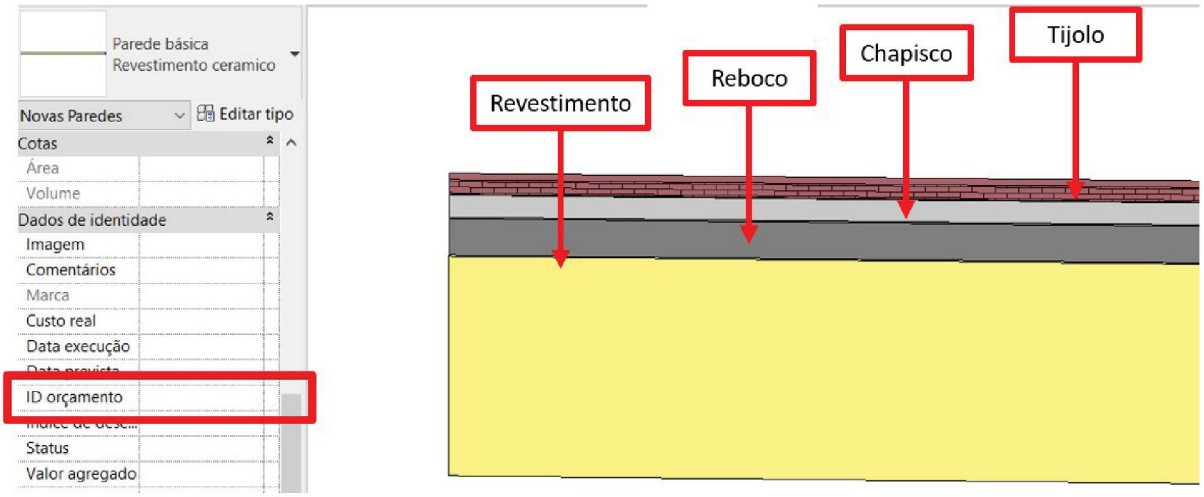
Dessa forma foram estabelecidas as proposições teóricas de que o modelo deve permitir: (I) Modelo BIM / Planejamento – a integração das informações entre os processos, por meio da padronização do nível de detalhe entre modelo e EAP e utilização dos mesmos códigos de orçamentação para a identificação de cada elemento/tarefa. (II) Modelo BIM / Acompanhamento da produção – a integração das informações coletadas em obra para o controle de medição e da análise do valor agregado. (III) Planejamento / Acompanhamento – a integração das informações para retro-análise do planejamento em nível de médio e curto prazo e geração de relatórios de acompanhamento com as métricas da EVA.

Foi possível perceber com o material fornecido que o modelo arquitetônico foi desenvolvido adotando a modelagem de parede composta (nomenclatura adotada no mercado de trabalho para a modelagem em camada única). Com a

utilização da modelagem em parede composta não seria possível atender a integração das informações necessárias para orçamento e as informações para a análise do valor agregado. Notou-se a necessidade de adotar “modelagem cebola” (nomenclatura adotada no mercado de trabalho para a modelagem em camadas separadas), ou seja, cada camada (tijolo, chapisco e reboco) separadas cada uma em um elemento, portanto para uma melhor integração foi uma das definições do projeto do artefato e a indicado no BEP.

Para que o modelo disponha de todos os dados necessários para a integração dos processos, parâmetros deverão ser criados em cada camada individual para o preenchimento das informações contempladas no fluxo do processo. Considerando o serviço de alvenaria percebe-se que na proposição teórica (I) de acordo com a EAP o modelo deve conter uma parede representando cada etapa de alvenaria a pintura ou revestimento cerâmico e elas possuírem um parâmetro de identificação da codificação para a orçamentação e de acordo com a EAP, como demonstrado na figura 17.

FIGURA 17 – MODELO DA PROPOSIÇÃO (I)



FONTE: Autora

Após a definição do nível de detalhe e informação do modelo para atender o seu uso, foi analisado o processo de planejamento. Percebeu-se que o planejamento de longo prazo não era efetivamente utilizado na obra. Para o planejamento de médio e curto prazo eram analisados em obra os serviços já executados, em execução e aqueles que não possuíam restrições para sua execução. Com isso eram determinados os pacotes de trabalho para a próxima semana sem relação com o ritmo de produção, a estratégia de ataque e as datas marco da obra definidas no planejamento de longo prazo.

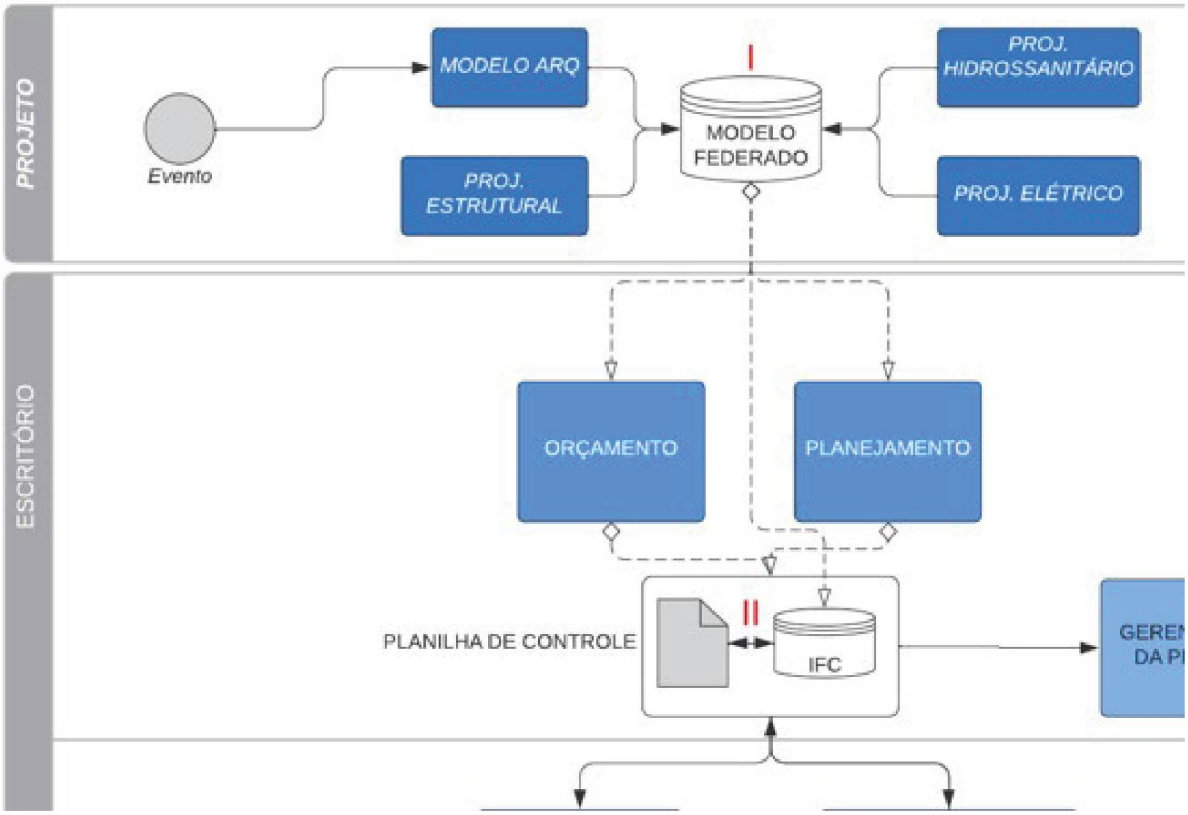
Logo o planejamento de médio e curto prazo funcionavam como uma fonte de informação à parte de controle. As informações que retornavam ao escritório para controle interno eram preenchidas no período de 15 dias em uma versão impressa da planilha de controle. Essas informações eram utilizadas para o controle de medição de atividades executadas e pagamento da mão de obra (serviço terceirizado contratado na forma de empreita).

Com o preenchimento da planilha os gráficos informavam a porcentagem executada e a executar de cada etapa, de cada unidade e da obra como um todo. Também gerava um gráfico de progresso da obra. Essas informações eram agrupadas na aba de dashboard. Ao final, a planilha Excel, continha as informações do fluxo relativo ao processo, como custo direto, porcentagem do item em relação ao custo, quantitativo de projeto, data de execução, quantidade medida gerando as informações de porcentagem executada e progresso da obra. A partir dessas informações e de acordo com as proposições (II) e (III) foram adicionados mais parâmetros ao modelo.

Diante da análise foi proposto o método, baseando-se nos processos utilizados na empresa, de forma a integrar a comunicação entre os processos de modelagem, planejamento, controle de obra e indiretamente orçamentação. De forma que o fluxo de informação acontecesse integralmente a partir da utilização do modelo e esse servisse como um banco de dados para o processo. Portanto o BEP mencionará os parâmetros a serem criados para os elementos, assim como o conjunto de dados específicos e a configuração do IFC para a exportação do modelo.

Buscou-se possíveis softwares para a elaboração do método, tendo como foco o entendimento da integração entre os programas, arquivos e formatos. A possibilidade de automatização de algumas tarefas e como o gerenciamento visual somado a análise do valor agregado poderia contribuir para a melhora do gerenciamento da obra, tudo isso somado ao princípio de utilizar softwares que a empresa já possui licença ou softwares gratuitos. A figura 18 apresenta o esquema do modelo proposto.

FIGURA 18 – MODELO PROPOSTO



FONTE: Autora

Na figura 16 é possível observar os pontos de entraves no fluxo de informações entre os processos de projeto, planejamento e acompanhamento da obra anteriormente descritos. A identificação dos entraves juntamente com a análise das proposições teóricas do modelo e das informações necessárias para uma melhor integração dos processos deram origem ao fluxo demonstrado na figura 18 a qual considera três atividades (padronização, controle, integração) a serem desenvolvidas para a criação do artefato.

As atividades do modelo proposto são descritas a seguir:

(I) Padronização: para que o fluxo funcione de forma continua utilizando o modelo BIM com o nível de detalhe adequado para tomada de decisões e não apenas como registro, as atividades que extrairão informações necessitam estar associadas ao modelo, para isso cada elemento do modelo precisa ter inserido um código que permita essa associação, assim como seu nível de detalhe.

(II) Controle: definir quais informações são necessárias inserir para obter o controle no modelo e automatizar o processo, tornando a atividade de acompanhamento da obra menos trabalhosa, exigindo menos tempo para execução dessas atividades, além de alcançar a integração dessa atividade com as demais.

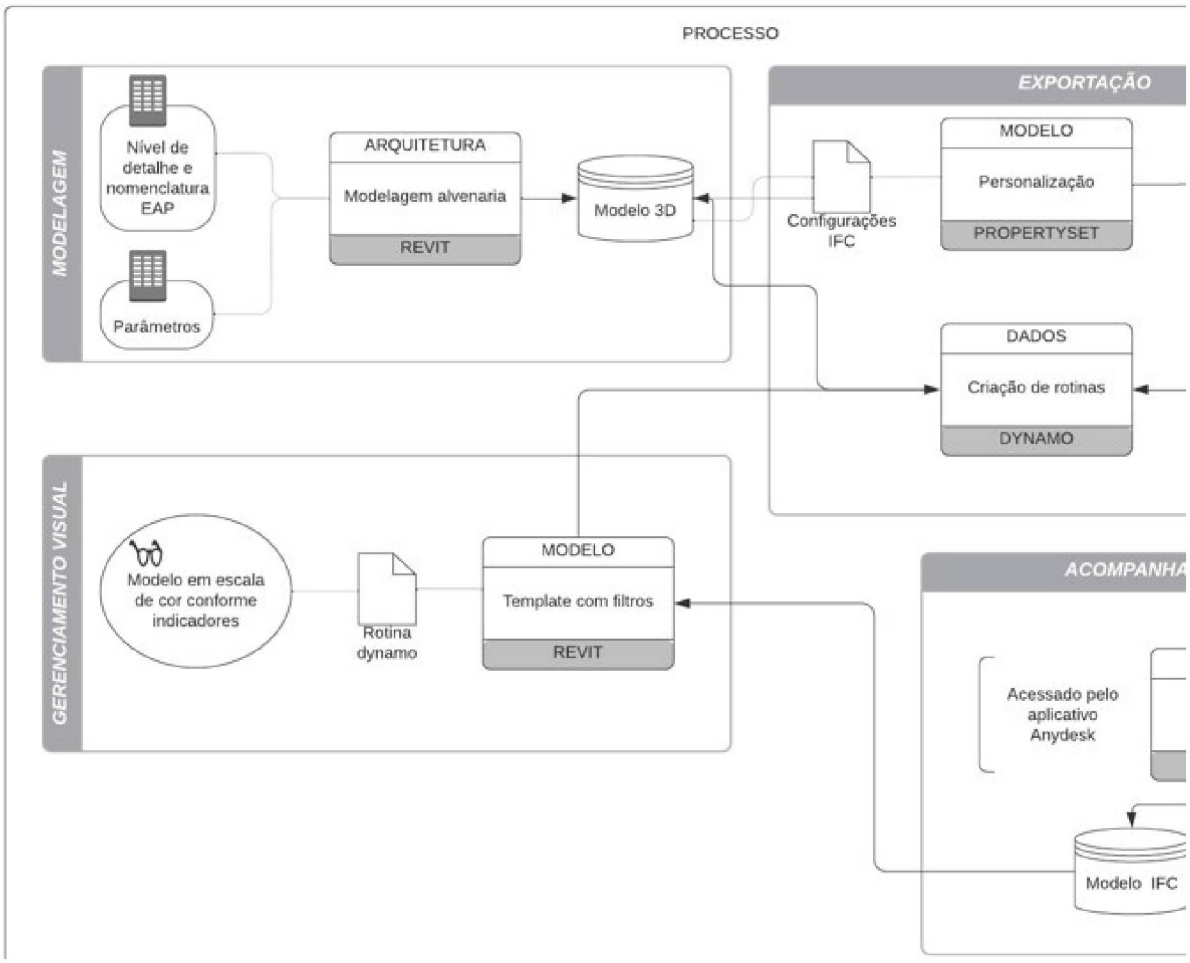
(III) Integração: estabelecer um meio de integrar as fases de planejamento, pois a definição dos pacotes de trabalho não se comunicava com o planejamento inicial, não havendo comunicação e consequentemente revisão e atualização do planejamento.

O modelo proposto teve como foco entender o processo utilizado pela empresa e encontrar uma forma de permitir a melhoria da comunicação entre eles, para que possibilitasse o desenvolvimento do artefato baseado nos processos já utilizados pela empresa, buscando os programas adequados para o foco da pesquisa. As sessões seguintes tratam do desenvolvimento do artefato e exemplificam o método na prática.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Essa etapa da pesquisa, conforme já explicado e de acordo com a figura 12, ocorreu de forma cíclica. Neste momento do estudo as proposições teóricas foram utilizadas como guias para a elaboração do modelo BIM, e a planilha de controle por ser uma estrutura padrão da empresa fonte de informação para criação de parâmetros nos modelos BIM autorais. Com base na afirmação anterior, no modelo proposto, na integração entre os programas, arquivos e formatos, o artefato é representado na figura 19.

FIGURA 19 – ARTEFATO PROPOSTO



FONTE: Autora

Diante do exposto para retratar a lógica do artefato proposto, os itens subsequentes irão demonstrar o passo a passo do desenvolvimento do artefato em cada processo.

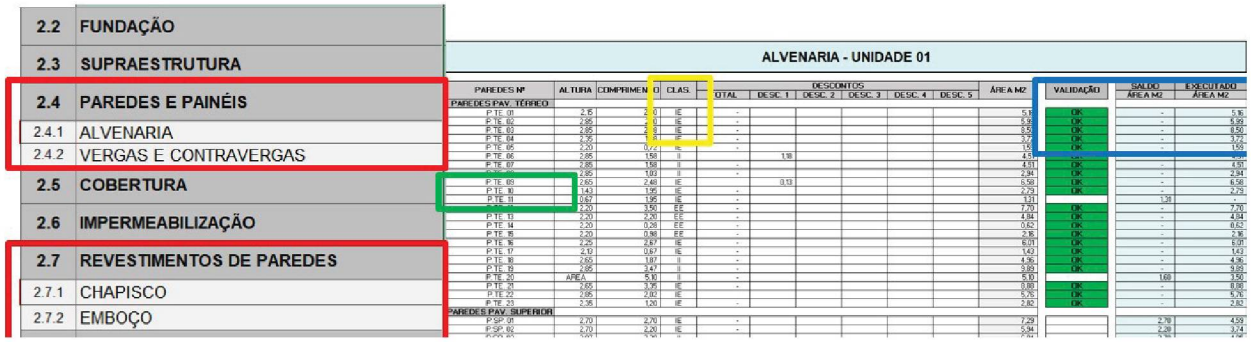
5.2.1 *Modelagem 3D*

O nível de desenvolvimento adotado foi baseado na EAP disponível na planilha de controle, como pode ser observado na figura 20, algumas informações foram extraídas. Os itens marcados em vermelho exibem a separação das paredes na EAP em duas etapas, e em cada etapa duas atividades, isso demonstra que o modelo deve adotar as quatro atividades como elementos diferentes. Com isso a primeira definição foi a adoção da modelagem em “parede cebola” conforme explicado anteriormente. A partir disso cada elemento modelado terá que conter o ID da EAP, sendo este o primeiro parâmetro definido.

O retângulo amarelo destaca as diferentes classificações das paredes, se são paredes internas/externas ou internas/internas, essa classificação ajuda na identificação dos tipos de revestimentos a serem utilizados pois impacta no orçamento. Com a adoção da modelagem por parede cebola, esta classificação não é necessária, pois os revestimentos são modelados como elementos distintos, por isso optou-se pela criação de um parâmetro de ID de orçamentação, assim foi definido o segundo parâmetro a ser criado.

Já o retângulo verde é a classificação que condiz com a identificação da própria parede, indicando a sua localização, para o gerenciamento visual a classificação não é necessária, mas como a planilha será mantida e pretende-se automatizar seu preenchimento a partir do modelo, o ID do elemento é o terceiro parâmetro definido. Entretanto o próprio Revit ao modelar os elementos cria um ID de identificação único para cada elemento, a fim de evitar a criação de informações redundantes será utilizado este id automático.

FIGURA 20 – INFORMAÇÕES PLANILHA DE CONTROLE



FONTE: Autora

Em azul estão destacados os campos preenchidos com os dados recolhidos na obra, para que o preenchimento dos dados seja feito pelo modelo como proposto, foi preciso verificar a relevância dos dados para o cálculo dos índices da EVA e a necessidade de criação de novos parâmetros. As informações necessárias para a medição da execução retiradas foram: data, comprimento e altura que resultam na área executada e a partir disso obtém-se o saldo executado e a ser executado.

Para a criação de novos parâmetros, além das informações da medição também foram considerados os dados de entrada necessários para o cálculo da análise do valor agregado. Dessa forma os indicadores da EVA selecionados no estudo são variação de custo e planejamento e índice de desempenho de custo,

para o cálculo são necessários os dados de entrada do valor previsto, valor agregado e custo real (os dados específicos utilizados na pesquisa constam no apêndice B).

Diante do exposto foram criados, parâmetro de tipo e parâmetro de instância. Para as informações que permanecem as mesmas para os elementos foram criados parâmetros de tipo, enquanto para as informações especificas parâmetros de instância. Portanto os parâmetros criados para medição e controle da obra foram:

- Tipo: ID EAP, ID orçamento
- Instância: altura medida, comprimento medido, área medida, peso medido, data execução, data medição, data prevista, status, valor agregado, custo real, valor previsto, variação de custo, variação de planejamento e índice de desempenho de custo.

Após os testes funcionais foi preciso a adequação dos parâmetros escolhidos de acordo com a necessidade das rotinas e da planilha. Verificou-se que alguns parâmetros definidos inicialmente não seriam necessários e novos parâmetros teriam que ser criados. Como alguns elementos eram executados em diferentes etapas, estes eram medidos em momentos diferentes, sendo necessário a criação de mais parâmetros destinados a medição. Dessa forma ficaram definidos os parâmetros:

- Tipo: ID EAP, ID orçamento, data de início, data de término, duração (dias úteis), quantitativo de projeto, custo unitário de orçamento, produção média
- Instância: status, altura medida-1, comprimento medido-1, área medida-1, peso medido-1, data-1, altura medida-2, comprimento medido-2, área medida-2, peso medido-2, data-2, altura medida-3, comprimento medido-3, área medida-3, peso medido-3, data-3.

Ao final do ciclo a quantidade de parâmetros a serem criados ficou numerosa, optou-se por criar um template já com os parâmetros para facilitar a utilização em outros projetos. Outro ajuste necessário na modelagem foi adequar a nomenclatura dos elementos de acordo com a descrição das atividades da EAP e do planejamento.

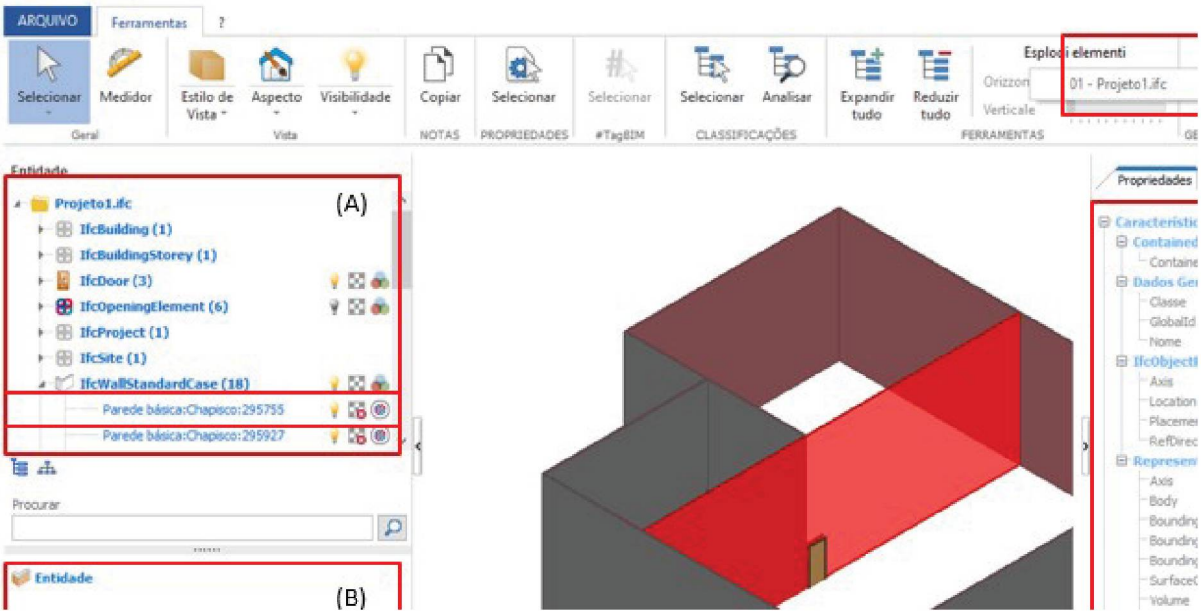
5.2.2 *Acompanhamento*

Para o preenchimento das informações da obra é utilizado o software usBIM.viewer+ da empresa ACCA SOFTWARE. Esse software foi escolhido porque possibilita a edição dos arquivos IFC, a federação dos projetos e possui versão em idioma português, proporcionando a visualização do projeto completo e a adição das informações necessárias para o acompanhamento da obra pelo modelo.

A dificuldade encontrada no software escolhido foi relativa aos requisitos mínimos de sistema, principalmente o sistema operacional ser Microsoft Windows. Como resolução adotou-se a utilização do software de acesso remoto AnyDesk por permitir o acesso e controle desktops pelo smartphone ou tablet e os recursos de acesso que permitem a configuração de login automático em que se pode começar uma sessão sem precisar inserir senha e acesso ao desktop quando este está em modo hibernação.

Ao abrir um arquivo no usBIM.viewer+ pode-se analisar alguns fatores importantes para o manuseio e adequação das informações para sua utilização dentro do artefato proposto. Na figura 21 os retângulos destacam quatro desses fatores, sendo (A) a visualização linear ou hierárquica destacando a forma como a nomenclatura dos elementos aparecem, a visualização é de acordo com a opção selecionada no retângulo inferior (B), podendo ser por entidades, grupos de seleção ou filtros de seleção.

FIGURA 21 – LAYOUT USBIM



FONTE: Autora

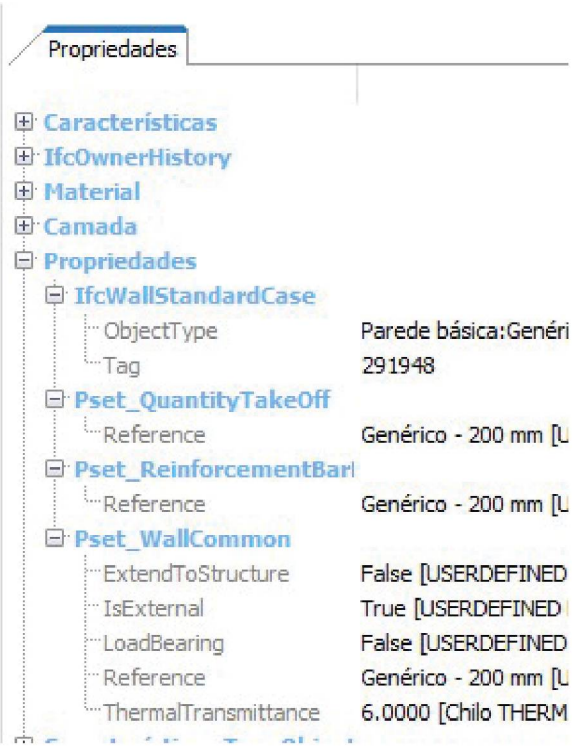
Tanto o grupo de seleção quanto o filtro permitem associar elementos de acordo com sua criação. Essas ferramentas ajudam na seleção dos componentes das paredes cebola, facilitando a seleção e edição das camadas internas. O retângulo (C) destaca a opção de edição, demonstrando a separação dos arquivos. Logo ao abrir diferentes arquivos IFC é possível selecionar cada arquivo individualmente assim como a edição também é individual.

Com o andamento dos testes funcionais percebeu-se a necessidade de criar grupos de seleção e filtros para o funcionamento do fluxo proposto e que estes seguiriam os níveis determinados na EAP, também foi percebido que estas ferramentas podem auxiliar na programação das atividades de médio e curto prazo a partir das datas do planejamento e do status da execução.

O retângulo (D) demonstra a janela de propriedades, local em que estão inseridas as informações relevantes dos arquivos. A partir dessa janela é possível visualizar características, material, camada, propriedades, entre outras informações do elemento selecionado. Ao analisar a opção das propriedades nessa janela percebe-se que o padrão da informação é definido de acordo com a exportação do IFC, aparecendo os conjuntos de parâmetros denominados PropertySets (figura 22). Os PropertySets (Pset) podem ser nativos dos softwares, nativos de modelos IFC e personalizados.

Na sequência iniciou-se o processo para a edição com o intuito de inserir os dados necessários e foi constatado que as propriedades dos elementos apareciam de acordo com as classificações das propriedades na janela de propriedades. Para facilitar o fluxo da inserção dos dados provenientes da obra optou-se pela personalização do Pset e dessa forma os parâmetros a serem editados ficaram agrupados dentro de um Pset específico. As configurações de exportação do IFC e a criação de PropertySet são descritos no item 5.2.3.

FIGURA 22 – JANELA DE PROPRIEDADES



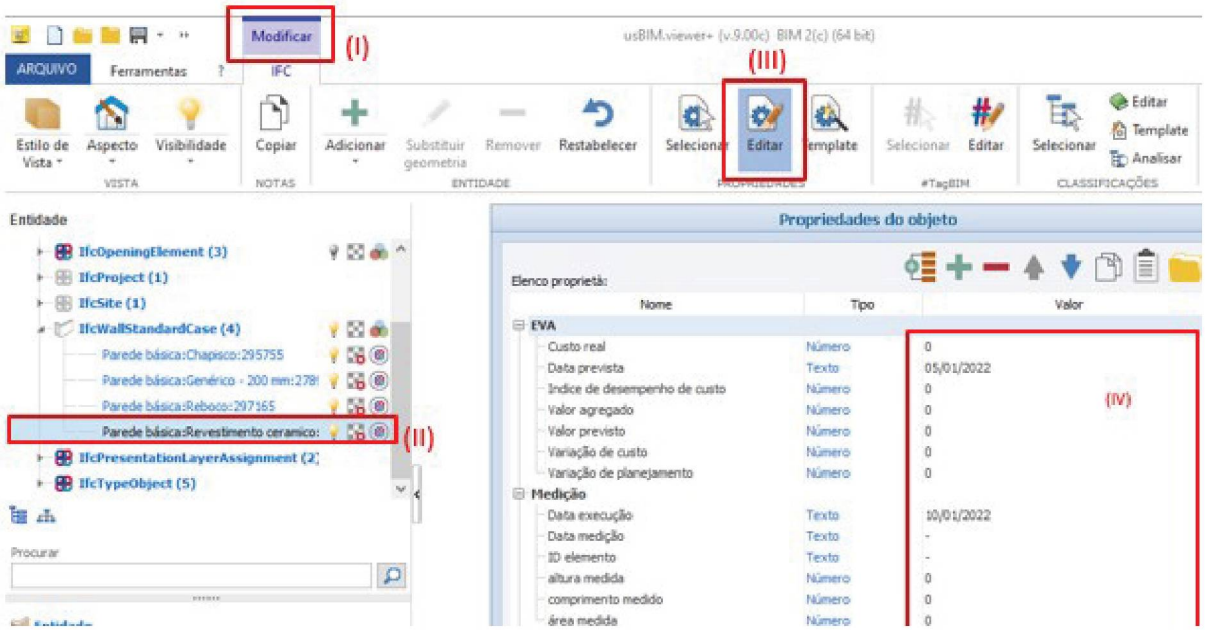
FONTE: Autora

O próximo passo para o desenvolvimento do artefato foi a criação de um Pset para o controle da obra. Com os PropertySets criados o modelo foi exportado do Revit em formato IFC, ao abrir o arquivo no usBIM.viewer+ notou-se que foram importados apenas os parâmetros já preenchidos. Com isso uma das especificações a serem definidas é o preenchimento inicial dos parâmetros criados.

Assim sendo, os parâmetros foram preenchidos no software nativo e o modelo novamente exportado em IFC e ao abrir novamente o arquivo no usBIM.viewer+ verificou-se que o arquivo continha os Psets criados com os parâmetros corretos. Portanto deu-se continuidade no desenvolvimento do artefato verificando o passo a passo para a edição representado na figura 23.

Após a seleção do arquivo (como destacado na figura 21), o programa abre uma aba (I) para começar a edição; na sequência é necessário selecionar o elemento a receber os dados (II); clicar para editar (III); uma nova aba é aberta contendo os valores dos parâmetros (IV).

FIGURA 23 – PASSO A PASSO EDIÇÃO



FONTE: Autora

Para salvar o arquivo editado em formato IFC é necessário exportá-lo como IFC pois na opção de salvar o arquivo fica salvo na versão proprietária do programa .IFC+. Esse formato impossibilita a leitura do arquivo em outros programas.

5.2.3 *Exportação*

No artefato proposto existem três momentos em que acontecem a exportação de dados; a exportação do modelo propriamente dito em formato IFC, dos dados do modelo para as planilhas e das planilhas para o modelo, ambos a partir de rotinas dynamo.

Para exportação em IFC é preciso adequar sua configuração dentro da formatação adequada para a criação dos Psets com as propriedades desejadas. Primeiramente é necessária a criação de um arquivo de texto (.txt) com o código para a criação do PropertySet. De acordo com Autodesk (2018), um arquivo padrão é armazenado quando o Revit é instalado e serve como base para estruturação dos conjuntos de propriedades personalizados. Seguindo este padrão a figura 24 demonstra o código criado para a exportação do Pset de controle da obra a partir da primeira definição dos parâmetros.

FIGURA 24 – CÓDIGO PROPERTYSET

```
#
#       Template de arquivo de texto para criação de Property Sets no Revit
#
# Formatação:
#       PropertySet:    <nome do Pset>  I[nstância]/T[ipo]      <Elementos IFC serapados por ',' ou IfcBuildingElement para s
#       <Nome da propriedade 1> <tipo de dado>  <[opcional] Nome do parametro Revit (caso diferente do desejado)>
#       ...
#
#
PropertySet:    EVA     I       IfcBuildingElement
                Data prevista   text
                Custo real      real
                Valor agregado  real
                Valor previsto  real
                Variação de custo       real
                Variação de planejamento        real
                Indice de desempenho de custo   real
#
#
PropertySet:    Medição I       IfcBuildingElement
                Status  text
                Data execução   text
```

FONTE: Autora

Com os testes funcionais, foi preciso uma nova personalização do Pset (figura 28). Para o funcionamento da rotina alguns parâmetros precisavam ser adicionados para que no retorno do arquivo da obra fosse possível os cálculos da análise do valor agregado, além da adequação para os novos parâmetros criados. Portanto foram criados quatro propertysets: medição 1, medição 2, medição 3 e controle.

Com o arquivo de texto criado, na sequência é preciso configurar o tradutor para a opção adequada de exportação, para que o modelo seja exportado com as propriedades de acordo com o código criado é necessário escolher a opção exportar conjuntos de propriedades definidos pelo usuário e selecionar o arquivo .txt. Após feita a modificação da configuração e o arquivo exportado, conferiu-se no usBIM.viewer+ se as propriedades desejadas se encontravam no modelo IFC, conforme descrito em 5.2.2.

De acordo com o guia *The Dynamo Primer*, o Dynamo é uma ferramenta de programação visual que pode ser usada dentro e fora do Autodesk Revit e quando utilizado dentro do Revit consegue interagir com os objetos do modelo para definir as relações e as sequências de ações que compõem os algoritmos personalizados. Dentro de um modelo BIM as relações materiais, físicas e espaciais entre os elementos são estabelecidas por meio de parâmetros controláveis por uma série de relações e regras associadas ao contexto de sua inserção (EASTMAN et al., 2014).

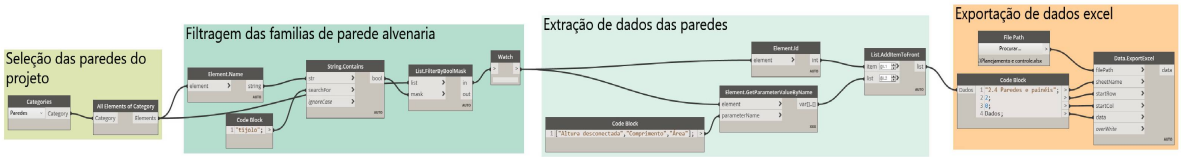
Segundo Sena (2019) isso é possível mediante a modelagem paramétrica em que todos os elementos do edifício são ligados por meio de regras e

propriedades registradas em um banco de dados relacional, ou seja, as informações ficam correlacionadas em um banco de dados paramétrico capaz de fornecer informações sobre todos os elementos inseridos no modelo.

Assim sendo, a partir do uso integrado do Dynamo com o Revit um usuário pode expandir substancialmente os fluxos de trabalho paramétricos para interoperabilidade, documentação, análise e geração. No caso da presente pesquisa o uso integrado foi utilizado para automatizar funcionalidades do Revit, melhorar a interoperabilidade para exportação/importação de dados entre o Revit e as planilhas Excel e auxiliar no gerenciamento visual a partir de índices de controle da análise do valor agregado.

A figura 25 demonstra uma rotina para o preenchimento da planilha com as informações dos elementos da família parede tipo alvenaria, sendo os dados exportados: ID do elemento, altura, comprimento e área. É importante destacar que para um bom funcionamento entre os três softwares (Revit, Dynamo e Excel), faz-se necessário a utilização da planilha eletrônica sem muitas personalizações. Uma solução possível é a importação dos dados para planilhas simplificadas e dessas planilhas os dados serem enviados para a planilha personalizada.

FIGURA 25 – ROTINA PARA EXPORTAÇÃO



FONTE: Autora

A lógica dos programas desenvolvidos com programação visual consiste na utilização de grafos (diagramas) que são compostos de elementos chamados de nós (os nós são ligados entre si por meio de linhas ou arcos). Indiretamente ao criar o grafo cria-se códigos de programação que ficam ocultos dentro dos nós do grafo, os nós contêm encapsuladas as estruturas utilizadas pela linguagem de programação visual. O resultado obtido pela programação ao se executar o grafo é gerado a partir do processamento do código incorporado em seus nós (MONTEIRO, 2016).

Para o desenvolvimento da pesquisa optou-se por desenvolver uma nova planilha de planejamento e controle (anexo C), baseada na planilha disponibilizada pela empresa, nas informações necessárias para o controle proposto e de acordo com a necessidade de adaptação para o pleno funcionamento das rotinas. À vista

disso ao final a planilha criada continha para o planejamento e controle abas separadas. As abas das atividades foram nomeadas apenas com os números da EAP, as colunas das planilhas foram definidas de acordo com os parâmetros e sequência de preenchimento das rotinas.

Com a nova formatação da planilha foi possível ajustar a programação visual para uma forma mais simples e rápida, sendo capaz de uma única rotina englobar todos os elementos do modelo.

O Dynamo é uma ferramenta de programação visual hibrida, ou seja, é incluído no programa linguagem de programação não visual, linguagem textual – Python. Por não ser tão poderosa quanto a linguagem textual, a programação visual pode em alguns momentos dar muitas voltas para obter um resultado, não deixando a rotina simples e clara, nesses momentos foram utilizadas as linguagens textuais.

5.2.4 *Gerenciamento visual*

O gerenciamento visual auxilia na organização das informações, permitindo o seu compartilhamento e a visualização sobre a situação atual. Pensando em um fluxo BIM, existem diversas ferramentas com esta função, porém como são softwares pagos e um dos objetivos da pesquisa é não onerar a empresa, para desenvolver o gerenciamento visual também foi utilizado o Dynamo. Foram criadas rotinas para automação de visualização por cores para o gerenciamento.

As rotinas para o gerenciamento visual foram desenvolvidas em relação à EVA e ao planejamento (figura 26). No planejamento define-se a data de início e término de cada atividade de acordo com o nível destrinchado na EAP. No caso das paredes que será a etapa estudada, de acordo com o nível utilizado a atividade paredes e painéis está subdividida em alvenaria e vergas e contra vergas, enquanto a atividade de revestimento de paredes está subdividida em chapisco e emboço.

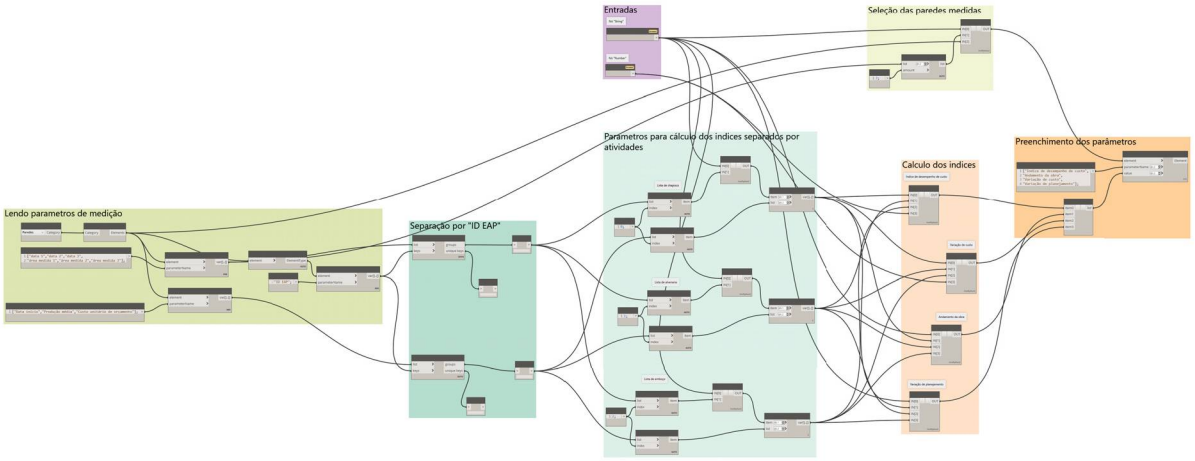
Logo o controle deve também acontecer nesse nível, mesmo que o preenchimento em obra seja de cada elemento, o cálculo para controle será baseado no nível de detalhe. Assim sendo, o cálculo da EVA foi baseado no valor unitário do serviço, ou seja, foi utilizado como base o valor do m² da alvenaria, o custo também foi adotado por m², para obter um parâmetro para a comparação da produção foi adotado um valor de produção médio diário de planejamento obtido da duração de cada atividade pelo quantitativo de projeto.

Para a EVA foram considerados as variações de custo, variação de planejamento e o índice de desempenho, enquanto para o planejamento o

andamento das atividades (em atraso, no prazo ou adiantada). Se a variação de custo for positiva, o custo estará abaixo da linha de base (ou valor previsto) portanto foi escolhida a cor azul para sua representação caso a variação de negativa a atividade em questão terá ultrapassado o orçamento e representada pela cor vermelha, a cor verde será utilizada para as atividades que foram executadas conforme o previsto. A mesma lógica das cores é seguida para o andamento da obra

A visualização por cores dos elementos conforme o cálculo dos indicadores aconteceu pela criação de um template no Revit. No template criado continha um parâmetro de projeto para cada indicador assim como uma vista 3D, foram criados filtros de acordo com os significados de cada resultado conforme descrito no quadro 2 (capítulo 2) e em cada vista 3D foi ajustado a visibilidade de gráficos de acordo com o filtro e o padrão de cores.

FIGURA 26 – ROTINA PARA GERENCIAMENTO VISUAL

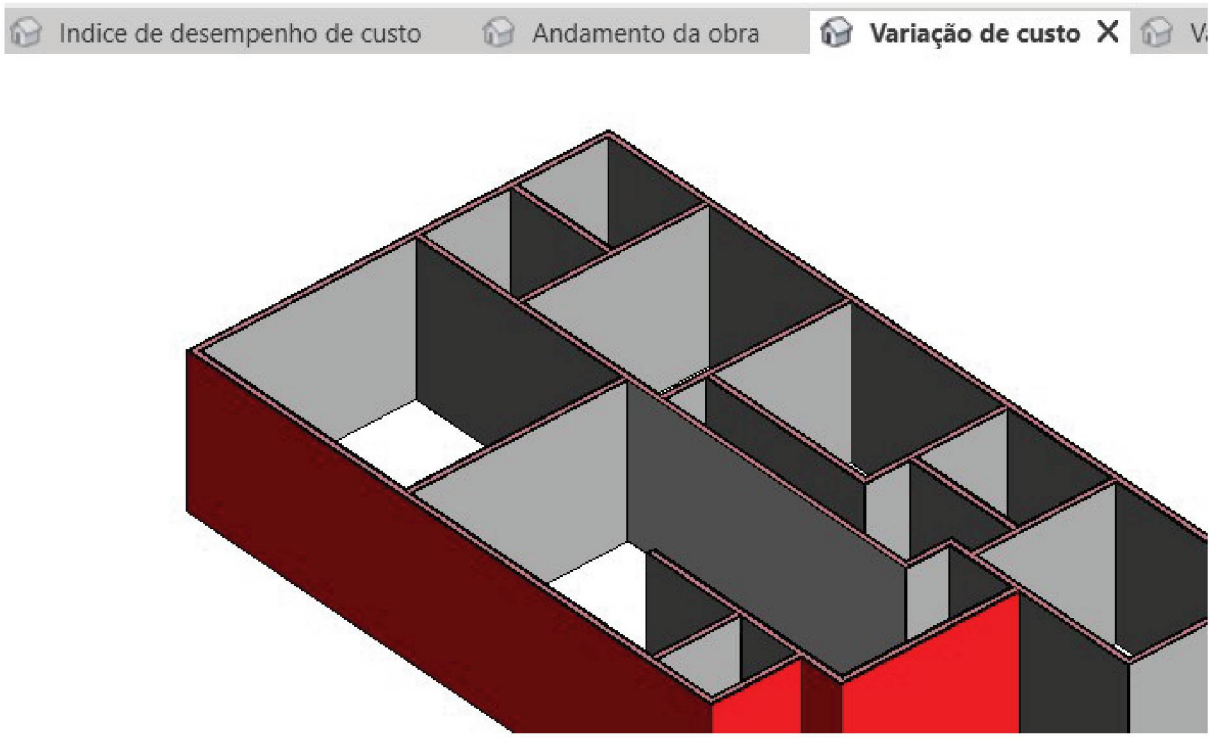


FONTE: Autora

A rotina foi elaborada pensando na leitura do arquivo recebido da obra, para otimizar o processo a rotina preenche os parâmetros na planilha Excel e calcula os índices definidos no estudo. Para o cálculo foi necessário a entrada manual de duas informações, a data atual considerada como a data em que ocorrera a medição e o custo real, o cálculo do valor previsto foi programado encontrando a duração de dias da atividade, multiplicado pelo valor da produção média (parâmetro adicionado ao modelo) e pelo custo unitário de orçamento (parâmetro adicionado ao modelo). Já para o valor agregado é contabilizado a quantidade produzida até a data atual multiplica pelo custo unitário de orçamento (parâmetro adicionado ao modelo). Como o custo real é informado manualmente, os valores necessários para o cálculo dos índices da EVA já foram selecionados.

Para o cálculo do andamento das atividades são comparados o quantitativo da produção média com a produção real para a data atual, difere do índice da variação do planejamento pois se compara a produção pelo prazo de execução. É importante manter as duas análises para conseguir visualizar possíveis compensações na execução das tarefas de acordo com o planejamento. Na sequência da rotina são feitos os cálculos. A figura 27 exibe a vista de um dos indicadores conforme o cálculo em um dos testes funcionais.

FIGURA 27 – VISTA PARA GERENCIAMENTO VISUAL



FONTE: Autora

Após os cálculos apenas os elementos medidos são selecionados para o preenchimento dos parâmetros dos indicadores, logo o sistema de cores fica ativo só para estes elementos, como pode-se observar na figura 27.

5.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Esta pesquisa adotou a simulação para a avaliação do artefato com o intuito de ajudar na sistematização da inserção da análise do valor agregado no controle de medição. As ferramentas e o fluxo utilizado foram descritos na seção 5.2.

Será apresentada uma simulação (anexo D) considerando um modelo experimental de uma residência térrea, em que o escopo do controle se limitou apenas para atividade de alvenaria, dessa forma o modelo continha apenas a arquitetura.

O intuito da simulação é testar o artefato de acordo com o desenvolvimento previsto na utilização do mesmo, seguindo o passo a passo como se fosse um novo empreendimento a ser executado pela empresa. Todas as etapas acontecem na sequência, simulando em um ambiente controlado correspondente à situação real, ou seja, é analisado o comportamento do artefato por meio de um exercício de modelo.

A simulação iniciou com o desenvolvimento do planejamento, detalhando de acordo com as dimensões hierárquicas os pacotes de serviço conforme o grau de controle a ser impresso na obra, foi utilizada a planilha criada para planejamento e controle, nessa etapa as atividades receberam os IDs da EAP e do orçamento. Após a definição da EAP a modelagem arquitetônica foi desenvolvida, seguida da inserção dos códigos no modelo, mediante a primeira rotina criada.

Após a inserção dos códigos foi possível o preenchimento da planilha com as informações do ID dos elementos, e as informações de quantitativo (altura, comprimento e área das alvenarias), o preenchimento aconteceu de forma automatizada com a segunda rotina criada. Com isso deu-se o desenvolvimento do planejamento e do orçamento.

Para importar o modelo em IFC foi preciso primeiro exportar as informações faltantes da planilha e preencher os parâmetros definidos, esta etapa também foi automatizada com rotina. Foi feita então a configuração dos Property Sets para exportação das informações e configuração do tradutor IFC para a exportação.

Após a exportação o modelo foi aberto no usBIM.viewer+, e verificado se estava apto para ser utilizado, foram checados nos elementos se possuíam os parâmetros separados de acordo com a configuração do pset (figura 28). Após a constatação do modelo como apto, criou-se filtros de seleção de acordo com a separação da EAP e da data de execução prevista, então o modelo foi enviado para a pasta de controle.

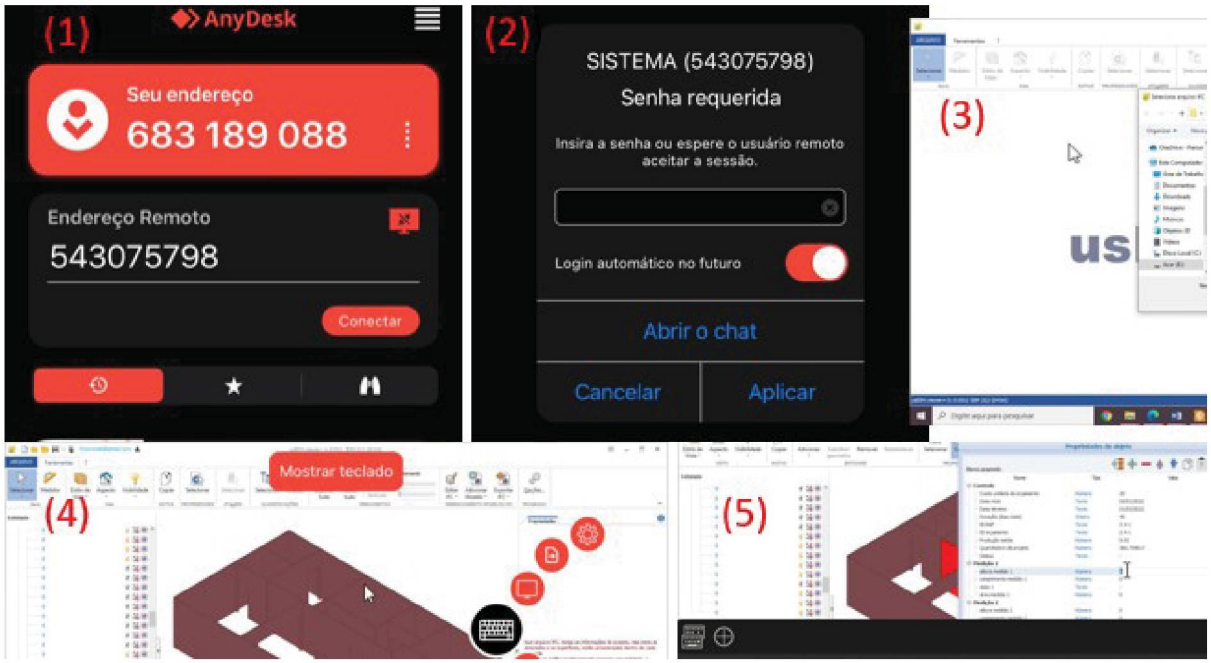
FIGURA 28 – PARÂMETROS DE ACORDO COM O PSET

```
# Teste de Property Set para dissertação:
#
PropertySet:    Medição 1       I       IfcBuildin
                altura medida 1 real
                comprimento medido 1    real
                área medida 1   real
                data 1  text
#
#
PropertySet:    Medição 2       I       IfcBuildin
                altura medida 2 real
                comprimento medido 2    real
                área medida 2   real
                data 2  text
#
#
PropertySet:    Medição 3       I       IfcBuildin
                altura medida 3 real
                comprimento medido 3    real
                área medida 3   real
                data 3  text
#
#
PropertySet:    Controle        I       IfcBuildin
                Data início     text
                Data término    text
                Status  text
```

FONTE: Autora

A partir do fluxo do artefato proposto o modelo é acessado na obra por meio de um tablet e aberto pelo aplicativo anydesk (a figura 29 demonstra o passo a passo para o acesso do modelo).

FIGURA 29 – ACESSO AO MODELO



FONTE: Autora

Com o acesso ao modelo (passos 1, 2 e 3 da figura 29) e com os filtros criados foi possível selecionar a alvenaria sem dificuldades (4), o input dos dados (5) foi feito com base nos dados retirados da planilha de controle disponibilizada pela empresa, para que durante a simulação os dados fossem fiéis a situação vivenciada em obra. Com a coleta dos dados feita no modelo, este foi exportado como arquivo IFC.

O próximo passo de acordo com o artefato proposto é a abertura do arquivo no Revit para rodar as rotinas da programação visual e obter o resultado da EVA e do status do planejamento em escala de cor. O resultado da análise visual da simulação é exibido na figura 30. Como uma forma de manter a documentação por padrão e não apenas o modelo, as informações coletadas na obra são inseridas na planilha de controle de forma automatizada por outra rotina.

FIGURA 30 – ANÁLISE



FONTE: Autora

Destacou-se na simulação que o fluxo das informações foi desenvolvido ponderando a possível continuidade do projeto, evitando retrabalhos provenientes de informações faltantes, dessa forma a simulação de apenas uma medição da alvenaria não compromete o funcionamento do artefato. Com base na simulação e nos constructos de utilidade e aplicabilidade, foi realizada a avaliação da solução proposta.

O constructo utilidade foi avaliado pela pesquisadora em relação à contribuição do emprego do modelo no processo de controle de medição e tomada de decisão, considerando a disponibilidade de informações úteis. O uso do modelo

como banco de dados contribuiu para o rastreamento das informações, tornando as análises mais precisas e , portanto, mais confiáveis na tomada de decisão, o auxílio das planilhas eletrônicas não foi visto como um risco na possibilidade de erro ou perda de informação visto que o preenchimento das informações pertinentes aconteceram de forma interoperável por meio da programação visual. Assim sendo a avaliação quanto a confiabilidade da informação indicou que a utilização do artefato possibilita uma gestão confiável.

Na avaliação quanto à transparência, as ferramentas visuais do modelo proposto se mostraram úteis para análise e avaliação para o planejamento de médio e curto prazo e aumentou a clareza e o entendimento do ritmo de produção com a representação das cores de acordo com os indicadores. No que diz respeito à integração, a utilização do modelo como banco permitiu a centralização dos dados e a partir dele as informações foram retiradas para os indicadores da análise do valor agregado, controle de medição e andamento da obra.

Em relação a padronização, a implementação do BEP mostrou que a sistematização dos processos permite replicar o método em obras similares o que possibilita a comparação dos resultados das obras permitindo a retroalimentação e criação de dados atualizados para possíveis ações corretivas em futuras obras. A padronização de famílias e parâmetros do modelo BIM foi útil para a extração precisa e rápida das informações por meio das rotinas o que trouxe também confiabilidade das informações.

A avaliação quanto a aplicabilidade foi analisada sob dois constructos, uso e eficiência. Em relação ao uso durante a simulação foi percebido que o passo a passo do método é longo, porém não demonstram níveis altos de complexidade, demonstrando que a operacionalização do método é possível desde que os passos sejam bem compreendidos pelos usuários. Notou-se a possibilidade de melhora na comunicação e na atualização do planejamento.

Quanto a eficiência, foi analisado se o método conseguiu entregar as informações necessárias e o esforço envolvido na obtenção das informações. Considerando o processo de modelagem, pela necessidade de utilização de paredes cebola, criação de novas famílias com nomenclatura padronizada e criação de novos parâmetros pode aumentar o tempo envolvido na etapa de projeto. Para a extração de informações do modelo e preenchimento das planilhas, em decorrência da utilização das rotinas dynamo o modelo proposto ficou mais eficiente. Já em

relação ao monitoramento e coleta de informações o método ficou mais complexo, porém integrado e possibilitando o acesso as informações visualmente.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo propor um modelo para a inserção da análise do valor agregado no modelo BIM sem a compra de novos softwares, o qual estabeleceria diretrizes de modelagem bem como um fluxo para utilização do modelo BIM no canteiro de obra para coletar os dados necessários para o gerenciamento. Para isso a pesquisa adotou a abordagem DSR como modo de produção de conhecimento, por meio de ciclos de aprendizagem na fase de desenvolvimento, o conhecimento evoluiu ao longo dos estudos, contribuindo para o desenvolvimento do método.

Portanto, diante do que foi apresentado no presente trabalho, observa-se que o objetivo definido foi alcançado. A seguir uma análise dos resultados é feita a partir de quatro etapas que guiaram o desenvolvimento do modelo para o alcance do objetivo, (a) estabelecer os critérios de avaliação e controle de obra de acordo com os dados necessários para o cálculo do EVA; (b) propor uma estrutura de modelagem para permitir o controle de custos pelo modelo; (c) elaborar um fluxo para utilizar o modelo BIM no canteiro de obra para coletar os parâmetros requeridos de gerenciamento pela EVA; (d) averiguar a utilização do modelo BIM a partir do fluxo criado, identificando os desafios e oportunidades; Seguidos da resposta ao problema com o alcance do objetivo proposto.

A revisão de literatura e diagnósticos realizados nos documentos fornecidos pela empresa permitiram a utilização da análise do valor agregado como técnica de controle, além da visualização de falta de integração entre os processos de projeto, planejamento e controle. Alguns dos entraves identificados nesta etapa da pesquisa foram: o modelo BIM servindo somente para registro e sem aplicações práticas na empresa, falta de integração do planejamento feito no escritório com a execução da obra, retrabalho na identificação das atividades executadas.

Os dados coletados na obra e disponíveis nas planilhas continham a maioria dos dados necessários para o cálculo da análise, os dados faltantes para os critérios de medição em relação a análise do valor agregado foram então adicionados conforme identificados após a revisão e diagnóstico. Com isso foi possível a compreensão dos requisitos de dados para utilização da técnica da análise do valor agregado com o modelo BIM.

Entendendo que a informação é a representação significativa que uma pessoa atribui a algo, e que sua representação pode ser feita por meio de dados, foi

possível compreender os tipos de informação (técnica, financeira e humana) necessários para integrar os processos de modelagem BIM, planejamento e acompanhamento da obra. De acordo com Freitas e Mendes Júnior (2010) o nível da informação segue uma hierarquia assim como os níveis administrativos: estratégico, tático e operacional.

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu no nível operacional, portanto as proposições teóricas estabelecidas visam as operações que ligam escritório e obra para a efetiva operacionalização e produção do empreendimento, portanto outras empresas conseguirão implementar a integração dos processos e seus requisitos para realizar um diagnóstico inicial da integração.

Para o alcance da segunda etapa o artefato requer o uso do modelo com visão operacional para descrever as atividades de produção do empreendimento, propondo uma divisão e classificação de acordo com a estrutura analítica de projeto para facilitar a integração com os processos de planejamento e controle. Então para atingir o objetivo o modelo foi operacionalizado como sistema de informação por meio de um banco de dados central de planejamento e controle integrados. Os dados de planejamento se referem as metas estabelecidas no nível de longo prazo, como datas marco, produção média e custo unitário de orçamento. Já os dados de controle, se referem aos dados reais coletados em obra (dados de medição). Por meio da comparação entre os dados de planejamento e dos dados de controle o desempenho do empreendimento foi mensurado pela análise do valor agregado.

O cumprimento da terceira etapa, a prescrição do fluxo para utilização do modelo BIM na obra, que descreve o fluxo de informações, tecnologias e pessoas para a integração dos processos, no qual está indicado um conjunto de fases para integração das informações, os processos, as atividades de entrada e saída. Por meio de um arranjo de softwares e ferramentas disponíveis, o formato e quais informações estariam disponíveis no modelo foram definidos.

A atualização do modelo com os dados da medição permitiu monitorar o trabalho em progresso e definir indicadores para mensurar o ritmo de produção e os indicadores da EVA. Estes indicadores combinados com o dashboard da planilha propiciou uma análise completa da produção e entendimento das causas dos desvios para auxiliar na tomada de decisão.

A partir da simulação pode-se observar que o artefato criado cumpriu a quarta etapa proposta no desenvolvimento desta pesquisa. Por meio do uso dos modelos BIM, é possível automatizar a coleta de dados na obra para o controle de

medição e obter índices de desempenho do empreendimento. No entanto exigiu um modelo mais detalhado, em que há a necessidade de verificação de incompatibilidade entre nomenclatura, uso de famílias e planilha, parâmetros e dados necessários de controle. Portanto, o desafio encontrado está na verificação da qualidade do modelo para utilização como base de dados para controle da obra.

É percebido que o mesmo método poderia ser desenvolvido com ferramentas já disponíveis no mercado, porém como exposto anteriormente, pequenas empresas não possuem capital disponível para compra de muitas licenças além do fato de ainda enxergarem a adoção do BIM como um custo e não investimento.

Logo, baseado na simulação, este método possibilita a criação de um fluxo BIM inicial para adaptação das empresas sem custo, para que a partir deste fluxo a empresa possa analisar comparativamente os benefícios da adoção dos processos BIM para que então compre os softwares adequados.

Foi possível observar também que a utilização de programação visual permite uma abrangência maior de atuação dos softwares de modelagem, além de uma melhor automação e também a integração entre o modelo e planilhas.

Durante o desenvolvimento da pesquisa ficou evidente que a clareza, determinação da informação a ser entregue e o seu fluxo dentro do processo BIM é determinante para se obter resultados positivos na adoção do BIM. Percebe-se que um dos fatores determinantes para o sucesso de implantação de BIM não são os softwares ou os fluxos definidos, mas sim a sua determinação e das informações relevantes anteriormente ao início da mudança do processo.

A adoção dos parâmetros relacionados ao planejamento proporciona ainda a possibilidade de utilização do modelo para o planejamento de médio e curto prazo. A utilização do software usBIMviewer+ na obra além de permitir o preenchimento dos parâmetros necessários para o acompanhamento, possibilita também de modo dinâmico e visual o planejamento de médio e curto prazo.

Os elementos podem ser selecionados e filtrados de acordo com a data prevista no planejamento de longo prazo. A partir dessa visualização e da análise em campo pode-se programar as próximas atividades e eliminar as restrições para que o projeto caminhe com base na programação feita.

Por fim, conclui-se que o método proposto representa uma contribuição por demonstrar que a utilização da análise do valor agregado quando utilizada dentro de um contexto condizente permite um bom controle da obra, sendo a principal

contribuição a integração da técnica aos modelos BIM proporcionando o gerenciamento visual, a extração de informações e criação de um banco de dados integrado. A integração propiciou uma medição mais automatizada e o cálculo de índices, permitindo que o responsável pelo controle da produção analisasse os dados possibilitando mais rápidas tomadas de decisões.

As principais limitações da pesquisa dizem respeito aos recursos disponibilizados pelos programas utilizados, uma vez que o método se fundamentou em não comprar novos softwares, utilizando os formatos e recursos de importação e exportação dos programas. O método proposto não se aprofundou na interface do orçamento da obra.

A principal dificuldade em desenvolver a pesquisa foi a limitação de acesso a empresa e as informações disponibilizadas. Assim, o método não pôde ser testado e implantado, se baseando apenas na análise dos documentos e funcionamento da empresa. Outra dificuldade foi em realizar reuniões com todos os principais envolvidos, principalmente, devido a demanda individual de trabalho de cada um e do momento de pandemia vivido durante a pesquisa.

Para trabalhos futuros é necessária a completa implementação do método proposto, englobando todas as disciplinas, a utilização do método em empreendimentos para que se possa identificar mais benefícios, limitações e possíveis ajustes no método proposto, assim como a identificação de mais aspectos para a generalização do mesmo. Aprofundamento no quesito orçamentário, se os requisitos desenvolvidos nesta pesquisa englobam as informações necessárias para o desenvolvimento do orçamento.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, J. S.; COSTA, D. B. Construction progress monitoring using unmanned aerial system and 4D BIM. Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC Dublin, Ireland, pp. 1445-1456. 2019.

ARROTÉIA, A. V.; AMARAL, T. G. DO; MELHADO, S. B. Gestão de projetos e sua interface com o canteiro de obras sob a ótica da Preparação da Execução de Obras (PEO). Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 183-200, out./dez. 2014.

AUTODESK. Revit IFC manual: Detailed instructions for handling IFC files. 2018

AZHAR, S., NADEEM, A., MOK, J. Y. N., and LEUNG, B. H. Y. "Building information modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects." Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries, Karachi, Pakistan, 435–446. 2008.

BALLARD, H. G. The Last Planner System of Production Control. Birmingham, 2000. Ph.D. Thesis. Scheel of Civil Engineering. Faculty of Engineering. The University of Birmingham.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto Engineer-to-order. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1,p. 173-192, jan./mar. 2018.

BIMe INITIATIVE. 211in Model uses table. V1.2. Disponivel em:< https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

BIMFORUM. Bim Project Execution Plan Guide: An introduction for those new to BIM. n. November, p. 103, 2020.

BIMFORUM. Level of Development (LOD) Specification 2020 Part I: For Building Information Models and Data. n. December, p. 253, 2020.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de Modelagem 4D e Building Information Modeling na Gestão de Sistemas de Produção em Empreendimentos de Construção. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 79-96, abr./jun. 2015.

BRITO, D. M. de; FERREIRA, E. de A. M. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 203-223, out./dez.2015

BRITO, D. M. de; FERREIRA, E. de A. M. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 203-223, out./dez.2015

BUILDINGSMART, Industry Foundation Classes: IFC4 Official Release. 2013. Disponível em: < https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/ >

CAIXA – Caixa Econômica Federal. Página inicial. Disponível em: <www.caixa.gov.br> Acesso em: 07 de mai. de 2021.

Caderno BIM : coletânea de cadernos orientadores : caderno de especificações técnicas para contratação e projetos em BIM – Edificações / coordenação: Lucimara Ferreira de Lima. - Curitiba, PR : Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística, 2018.136 p

CBIC – Camera Brasileira da Indústria da Construção. Página inicial. Disponível em: <www.cbic.org.br> Acesso em: 05 de mai. de 2021.

CAMPESTRINI, T. F.; GARRIDO, M. C.; MENDES JUNIOR, R.; SCHEER, S.; FREITAS, M. C. D. Entendendo o BIM. 1ed. Cutitiba-PR, 2015, v. 1.

CÂNDIDO, L. F.; CARNEIRO, J. Q.; HEINECK, L. F. M. Uma visão Lean da técnica de gerenciamento do valor agregado aplicado a construção. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, [S.L.], p. 1418-1427, 11 nov. 2014. Marketing Aumentado. http://dx.doi.org/10.17012/entac2014.603.

CHIRINÉA, M. L. B. Redesenho do sistema de gestão da produção em empresa construtora – Estudo de caso com foco no planejamento físico de obra. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2018.

CRAVEIRO, Flávio; DUARTE, José Pinto; BARTOLO, Helena; BARTOLO, Paulo Jorge. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: a perspective on construction 4.0. Automation In Construction, [S.L.], v. 103, p. 251-267, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011.

CZERNIGOWSKA, A. Earned value method as a tool for project control. Budownictwo i Architektura, v. 3, p. 15-32, Polônia, 2008.

DAVE, B. Developing a construction management system based on lean construction and building information modeling, Ph.D. Thesis. University of Salford. 2013.

DAVE, B.; KUBLER, S.; FRAMLING, K.; KOSKELA, L. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. Automation in Construction, v.61, p. 86-97. 2016

DERITTI, M. D. Gestão enxuta da informação aplicada ao fluxo de modelagem da informação da construção. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Ed. Bookman, 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de AYRES FILHO, C. Bookman, Porto Alegre, 2014.

FAN, S. et al. Integration of cost and schedule using BIM. Journal of Applied Science and Engineering. v. 13(3), p. 223-232, 2015.

FORD, J.; GALLIFORD, T. Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part C: Facilitating the common data environment (workflow and technical solutions). Ed.1, UK BIM Framework, set.2020.

FREITAS, M. C. D.; MENDES JUNIOR, R. . Tecnologia da Informação na Construção Civil. In: Nelma Mirian Chagas de Araújo. (Org.). Construção Civil: Uma abordagem Macro da Produção ao Uso. 1ed.João Pessoa -Pb: Geraldo Alves Flôr, 2010, v. 1, p. 181-212.

GASPAR, J. A. M. O significado atribuído a BIM ao longo do tempo. 2019. 238 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.;NEWTON, S. A. Planejamento e gestão de obras. Editora Cefet. 2002.

GOLDMAN, P. Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004. 180 p.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. MIS Quaterly, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HEVNER, Alan. A Three Cycle View of Design Science Research. Scandinavian Journal of Information Systems, v. 19, n. 2, p.4, 2007.

IBGE. Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2019. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:< https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=destaques>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ISO 19650 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets. 2018

ISO 19650-1 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. 2018

JRADE, A; LESSARD, J. An integrated BIM system to track the time and cost of construction projects: A case study. Journal of Construction Engineering, vol.2015, pp. 1-10, 2015

KIM, Y.W.; BALLARD, G. Is the earned-value method an enemy of work flow? In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2000, Brighton. Anais... VIII IGLC, 2000.

KOSEOGLU, Ozan; NURTAN-GUNES, Elif Tugce. Mobile BIM implementation and lean interaction on construction site. Engineering, Construction And Architectural

Management, [S.L.], v. 25, n. 10, p. 1298-1321, 7 set. 2018. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/ecam-08-2017-0188.

KOSKELA, L. Application of the New Production Philosophy to Construction Technical Report, 1992

KOSKELA, L.; DAVE, B. Process and IT. Construction innovation Vol. 8 n. 4, pp. 244-249, 2008.

KREIDER, R.G.; MESSNER, J. I. "The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses". Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA (2013).. http://bim.psu.edu

LIMA, F. K. "Implantação do processo BIM no apoio à execução dentro de uma construtora". Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2019.

LIMMER, C. V. Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras. Rio de Janeiro. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1997

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In Ojala, L. and Hilmola, O-P. (eds.) Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration., p. 83–101, 2003.

MACHADO, R. L.; VILELA, C. Conceptual framework for integrating bim and augmented reality in construction management. Journal of Civil Engineering and Management, v. 26, n. 1, p. 83–94, 2020.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MARCO, A de; NARBAEV, T. Earned value-based performance monitoring of facility construction projects. Journal Of Facilities Management, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 69-80, 15 fev. 2013. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/14725961311301475.

MATTÉ, G. R. Modelo interoperável de planejamento e controle do progresso físico de obras utilizando tecnologia BIM. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFSC, 2017.

MATTHEWS, J.; LOVE, P. E.D.; HEINEMANN, S.; CHANDLER, R.; RUMSEY, C.; OLATUNJ, O. Real time progress management: Reengineering processes for cloud-based BIM in construction. Automation in Construction. p. 38-47, 2015.

MATTOS, A. D. Planejamento e controle de obras. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MESSNER, J., ANUMBA, C., DUBLER, C., GOODMAN, S., KASPRZAK, C., KREIDER, R., LEICHT, R., SALUJA, C., ZIKIC, N. (2021). BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, disponível em: http://bim.psu.edu.

MIARA, R. D. Melhoria da gestão dos resíduos da construção civil através de aplicativo baseado em modelo BIM. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR, 2020.

MONTEIRO, A. Visual Programming Language for Creating BIM Models with Level of Development 400. In: 4th BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, 2016, São Paulo & Lisboa. Proceedings... São Paulo: BIMMI, 2016.

MRAZOVIC, N. et al. AEC and Pandemic: Response and Impact - December 2020 Update. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2021. Disponível em: https://cife.stanford.edu/aec-and-pandemic-december-2020. Acesso em: 26 maio 2021.

MUBARAK, Saleh. Construction Project Scheduling and Control. Journal Of Building Construction And Planning Research, [S.L.], v. 7, n. 2, 21 maio 2010. John Wiley & Sons, Inc.. http://dx.doi.org/10.1002/9780470912171.

NOVAIS, S. G. Aplicação de ferramentas para o aumento da transparência no processo de planejamento e controle de obra na construção civil. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

PEYERL, F. V. Desenvolvimento de sistema de informações para controle de custos diretos de obras de construção civil. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

PINTO, A. Estudo da percepção dos profissionais de engenharia e arquitetura quanto à importância do gerenciamento de projetos para a construção civil. Tese (Doutorado) –Universidade Federal Fluminense, 2012

PMI. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 3 Ed. Newtown Square, Project Management Institute, Inc., 2004

PRADO, D. Planejamento e Controle de Projeto. Minas Gerais: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2014.

QUEIROZ, M. N. Programação e controle de obras. Notas de aula. Faculdade de Engenharia, departamento de construção civil. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2001.

REINBOLD, A.; SEPPANEM, O.; PELTOKORPI, A.; SINGH, V.; DROR, E. Integrating Indoor Positioning System and BIM to Improve Situational Awareness." In: Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, 2019, pp. 1141-1150

REISINGER J., KOVACIC I., KAUFMANN H., KAN P.; PODKOSOVA I. (2020). " Framework proposal for a BIMbased digital platform for flexible design and optimization of industrial buildings for Industry 4.0" In: Proc. 37th CIB W78 Information Technology for Construction Conference (CIB W78), São Paulo, Brazil, pp. 401-415. DOI: http://dx.doi.org/10.46421/2706-6568.37.2020.paper029

RODRIGUES, P. B. de F.; MACHADO, R. L.; MENDES JÚNIOR, R.; ROMAGNOLI, L. D. S. C. Uma proposta de integração do modelo BIM ao sistema last planner. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 301-317, out./dez. 2018.

SACKS, R.; BARAK, R.; BELACIANO, B.; GUREVICH, U.; PIKAS, E. KanBIM workflow management system: prototype implementation and field testing. Lean Construction Journal, p. 19-35. maio. 2013

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3ed. Tradução de AYRES FILHO, C. Bookman, Porto Alegre, 2021.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. The interaction of lean and building information modeling in construction. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, p. 1307-1315. nov. 2010

SALMI, A. Applying earned value management in construction Project. Master's thesis. Master programme Building Technology. Aalto University School of Engineering. Espoo, Finlândia 2018

SANTOS, A dos. Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins / Aguinaldo dos Santos. - Curitiba, PR :Insight, 2018.

SANTOS, M. C. F. Método para integração do orçamento, planejamento e acompanhamento da produção com apoio de Building Information Modeling. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2018.

SANTOS, M. C. F.; COSTA, D. B.; FERREIRA, E. de A. M. Information workflow proposal for integrating cost estimating, scheduling, and monitoring with bim in SMEs. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 113-129, abr./jun. 2021.

SAUER, Natacha. Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção baseado em Localização na Construção com apoio de BIM – Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre. 2020.

SENA, P. C. P. Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SEPPÄNEN, O.; KANKAINEN, J. Empirical research on deviations in production and current state of project control, S. Bertelsen, C.T. Formoso (Eds.), IGLC-12, 12th Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingor, Denmark (2004) pp. 206–219.

SUCCAR, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, Automation in Construction. v. 18, n. 3 p. 357-375. 2009.

SUCCAR, B., SALEEB, N., SHER, W. (2016), Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language, Australasian Universities Building Education (AUBEA2016), Cairns, Australia, July 6-8, 2016

GARSKE, T. (Ohio). Building Team. Design-assist: The way to really fly [AIA course]. 2016. Disponível em: https://www.bdcnetwork.com/design-assist-way-really-fly-aia-course. Acesso em: 25 maio 2021.

VON HEYL, J.; DEMIR, S.-T. "Digitizing Lean Construction with Building Information Modeling." In: Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, 2019, pp. 843-852.

WANG, B.; YIN, C.; LUO, H.; CHENG, J. C. P.; WANG, Q. Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data. Automation In Construction, [S.L.], v. 125, p. 103615, maio 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103615.

WANG, X. et al. An innovative method for project control in LNG project through 5D CAD: A case study. Automation in construction, v.45, p. 126-135, 2014.

WANG, Z.; AZAR, E. R. BIM-based draft schedule generation in reinforced concrete-framed buildings. Construction Innovation, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 280-294, 17 abr. 2019. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/ci-11-2018-0094.

YOU, Z.; FENG, L. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. IEEE Access, v. 8, p. 122908–122922, 2020.

ANEXO A

EAP utilizada

ID ORÇAMENTO	ID EAP	Descrição
	2.1	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO E
101	2.1.1	LIMPEZA DO TERRENO
102	2.1.2	TAPUME
103	2.1.3	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS
104	2.1.4	LIGAÇÃO DE ÁGUA E LUZ
105	2.1.5	GABARITO
	2.2	FUNDAÇÃO
	2.2.1	ESTACAS
300	2.2.1.1	ARMADURAS (KG)
200	2.2.1.2	CONCRETO (M^3)
	2.2.2	BLOCOS
300	2.2.2.1	ARMADURAS (KG)
301	2.2.2.2	FÔRMAS (M^2)
200	2.2.2.3	CONCRETO (M^3)
	2.2.3	BALDRAME
300	2.2.3.1	ARMADURAS (KG)
301	2.2.3.2	FÔRMAS (M^2)
200	2.2.3.3	CONCRETO (M^3)
	2.2.4	IMPERMEABILIZAÇÃO BALDR
201	2.2.4.1	ARGAMASSA E VEDACIT (M^2)
602	2.2.4.2	MASTERSEAL 515 (M^2)
	2.3	SUPRAESTRUTURA
	2.3.1	PILARES
300	2.3.1.1	ARMADURAS (KG)
301	2.3.1.2	FÔRMAS (M^2)
200	2.3.1.3	CONCRETO (M^3)
	2.3.2	VIGAS
300	2.3.2.1	ARMADURAS (KG)
301	2.3.2.2	FÔRMAS (M^2)
200	2.3.2.3	CONCRETO (M^3)
	2.3.3	LAJES
302	2.3.3.1	ESCORAMENTO (M^2)
202	2.3.3.2	PREENCHIMENTO/ VIGOTAS
200	2.3.3.3	CONCRETO (M^3)
	2.3.4	ESCADA
301	2.3.4.1	FÔRMAS (M^2)

	2.6	IMPERMEABILIZAÇÃO
600	2.6.1	MANTA(M²)
601	2.6.2	BAUCRYL(M²)
602	2.6.3	MASTERSEAL(M²)
	2.7	REVESTIMENTOS DE PAREDE
203	2.7.1	CHAPISCO
204	2.7.2	EMBOÇO
	2.8	REGULARIZAÇÃO E CONTRAF
205	2.8.1	CONTRAPISO (M²)
206	2.8.2	REGULARIZAÇÃO (M²)
700	2.8.3	PROTEÇÃO MECÂNICA (M²)
	2.9	FORRO
800	2.9.1	GESSO (M²)
801	2.9.2	RASGO (M)
802	2.9.3	ACARTONADO (M²)
	2.10	PORCELANATO EM PISOS E P
900	2.10.1	PISO (M²)
904	2.10.2	RODAPÉ (M²)
902	2.10.3	PAREDE (M²)
908	2.10.4	REJUNTE (M²)
	2.11	ESQUADRIAS
1001	2.11.1	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO +
1002	2.11.2	PORTAS DE MADEIRA
1003	2.11.3	PORTÕES CONDOMÍNIO
	2.12	MÁRMORES E GRANITOS
903	2.12.1	SOLEIRAS E PEITORIS (M²)
905	2.12.2	BANCADAS (M²)
906	2.12.3	NICHOS (M²)
907	2.12.4	ESCADA (M²)
	2.13	PINTURA
	2.13.1	PINTURA INTERNA
1101	2.13.1.1	SELADOR (M²)
1102	2.13.1.2	MASSA PVA (M²)
1103	2.13.1.3	TINTA (M²)
	2.13.2	PINTURA EXTERNA
1104	2.13.2.1	FUNDO PREPARADOR (M²)
1105	2.13.2.2	PRIMER (M²)
1106	2.13.2.3	GRALITT (M²)
1107	2.13.2.4	MASSA ACRÍLICA (M²)
1108	2.13.2.5	STUCCO (M²)

	2.16	VIDROS
1301	2.16.1	VIDROS
	2.17	LOUÇAS E METAIS
1302	2.17.1	LOUÇAS E METAIS
	2.18	OUTROS REVESTIMENTOS
909	2.18.1	FULGET (M^2)
910	2.18.2	PISOGRAMA (M^2)
911	2.18.3	PEDRA (M^2)
912	2.18.4	INTERTRAVADO (M^2)
913	2.18.5	PISO TÁTIL (M)

ANEXO B

Dados utilizados na pesquisa

Parâmetros utilizados		
Data início	Data término	
ID orçamento	ID EAP	Dura
Quantitativo de projeto	Custo unitário de orçamento	Pro
Altura medida (1, 2 e 3)	comprimento medido (1, 2 e 3)	área
data (1, 2 e 3)		
Dados de entrada EVA		
Valor agregado (VA)	Obtido com a data da medição, ID EAP, área unitário de orçamento	
Valor planejado (VP)	Obtido com a data de inicio, data de medição, custo unitário de orçamento	
Custo real (CR)	Obtido com imput manual (controle de not	
Indicadores EVA		

ANEXO C

Planilha final

Projeto:		Projeto Demonstração		Data:	30/04/2022		Realce:			
ID ORÇAMENTO	ID EAP	Descrição	Data início	Data término	Duração (dias úteis)	Quantitativo de projeto	Custo unitário de orçamento	Produção média	Antecessoras	
2.1	2.1	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO E LOCAÇÃO			0					
2.2	2.2	FUNDAÇÃO			0					
2.3	2.3	SUPRAESTRUTURA			0					
2.4	2.4	PAREDES E PAINÉIS			0					
2.5	2.5	COBERTURA			0					
2.6	2.6	IMPERMEABILIZAÇÃO			0					
2.7	2.7	REVESTIMENTOS DE PAREDES			0					
2.8	2.8	REGULARIZAÇÃO E CONTRAPISO			0					
2.9	2.9	FORRO			0					
2.10	2.10	PORCELANATO EM PISOS E PAREDES			0					
2.11	2.11	ESQUADRIAS			0					
2.12	2.12	MÁRMORES E GRANITOS			0					
2.13	2.13	PINTURA			0					
2.14	2.14	INSTALAÇÕES EM GERAL			0					
2.15	2.15	DIVERSOS			0					
2.16	2.16	VIDROS			0					
2.17	2.17	LOUÇAS E METAIS			0					
2.18	2.18	OUTROS REVESTIMENTOS			0					

						% andamento do mês	
						data inicio	Mês
ID EAP	Descrição	Custo direto	% do item em relação ao custo	Quantitativo de projeto	Quantidade executado medido	% executado medido em relação ao serviço	% executado medido em relaç a toda obra
2.1	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO E LOCAÇÃO						
2.1.1	LIMPEZA DO TERRENO						
2.1.2	TAPUME						
2.1.3	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS						
2.1.4	LIGAÇÃO DE ÁGUA E LUZ						
2.1.5	GABARITO						
2.2	FUNDAÇÃO						
2.2.1	ESTACAS						
2.2.1.1	ARMADURAS (KG)						
2.2.1.2	CONCRETO (M^3)						
2.2.2	BLOCOS						
2.2.2.1	ARMADURAS (KG)						

ANEXO D

Link para vídeo da simulação

https://youtu.be/49q9qUsyPfI