



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**JULIANA SAMPAIO ÁLVARES**

**MONITORAMENTO VISUAL DO PROGRESSO DE OBRAS COM USO  
DE MAPEAMENTOS 3D DE CANTEIROS POR VANT E MODELOS  
BIM 4D**

Salvador  
2019

**JULIANA SAMPAIO ÁLVARES**

**MONITORAMENTO VISUAL DO PROGRESSO DE OBRAS COM USO  
DE MAPEAMENTOS 3D DE CANTEIROS POR VANT E MODELOS  
BIM 4D**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dayana Bastos Costa

Agência Financiadora: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES

Salvador

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Álvares, Juliana Sampaio

Monitoramento visual do progresso de obras com uso  
de mapeamento 3D de canteiros por VANT e modelos BIM  
4D / Juliana Sampaio Álvares. -- Salvador, 2019.  
225 f. : il

Orientadora: Dayana Bastos Costa.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil (PPEC)) -- Universidade Federal da  
Bahia, Escola Politécnica, 2019.

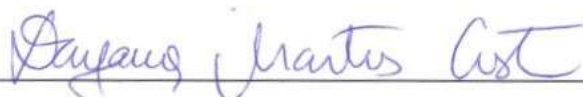
1. Monitoramento do progresso de obras. 2.  
Mapeamento 3D de canteiros. 3. Veículo Aéreo Não  
Tripulado (VANT). 4. Building Information Modeling  
(BIM). 5. BIM 4D. I. Costa, Dayana Bastos. II. Título.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

JULIANA SAMPAIO ÁLVARES

APRESENTADA AO MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DA BAHIA, EM 10 DE MAIO DE 2019.

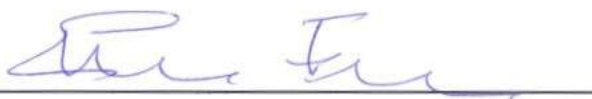
**BANCA EXAMINADORA**



**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dayana Bastos Costa**

Orientadora

PPEC - UFBA



**Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Emerson de Andrade Marques Ferreira**

PPEC-UFBA



**Prof.(a) Dr.(a) Eduardo Luis Isatto**

PPGCI- UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família, Ana Cristina Álvares, João Carlos Álvares e João Victor Álvares por todo o suporte, carinho, confiança e amor ao longo de mais esse ciclo e de toda a minha formação.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Professora Dayana Bastos Costa. Aprender a fazer pesquisa com você nesses últimos 4 anos (desde a graduação) foi uma experiência extremamente valiosa para mim. Muito obrigada pelo apoio de sempre, pelas contribuições, comprometimento e dedicação como orientadora. Obrigada também por ser este exemplo profissional (professora e pesquisadora) e de dedicação, o qual admiro muito.

Agradeço à Gabriel Dahia, pela dedicação, carinho, apoio e incentivo ao meu sucesso e pela compreensão e paciência nos momentos difíceis e de insegurança.

Agradeço muito aos meus colegas do Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) pelos momentos ótimos que passamos juntos ao longo dos meus 4 anos de GETEC (até o momento). Mas em especial gostaria de agradecer à Roseneia Melo, pela parceria e companheirismo em todos esses anos.

Muito obrigada a toda a equipe do projeto VANT, principalmente aos alunos de Indicação Científica que me ajudaram nas modelagens, coleta e processamento dos dados, incluindo Amanda Barbosa, Gustavo Cunha e Bruno Falcón.

Agradeço inclusive às empresas participantes do projeto, que nos abriram as portas, colaboraram e cederam seus canteiros e informações para que fosse possível o desenvolvimento dessa pesquisa. Principalmente à equipe da Obra A, que foi muito parceira e prestativa ao longo de mais de um ano de estudo.

Obrigada também à toda minha família e amigos, que direta ou indiretamente estiveram me apoiando.

Obrigado a todos os outros professores que também contribuíram para minha formação como mestre. Principalmente ao Professor Emerson Ferreira, que esteve em todas as minhas bancas do mestrado (projeto, qualificação e defesa final), e também ao professor Eduardo Isatto pelas contribuições nas bancas de qualificação e de defesa final.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPEC) da UFBA, pela oportunidade de desenvolver minha pesquisa junto ao programa, e pelo apoio do corpo docente, dos funcionários e também financeiro para participação de eventos.

Obrigado à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado concedida para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço também ao CNPq, FAPESB e à empresa MRV que também contribuíram de alguma forma para o financiamento dessa pesquisa.

Por fim, agradeço a todos os que apesar de não terem sido citados particularmente, de alguma forma também contribuíram para a minha trajetória no mestrado e desenvolvimento deste trabalho.

Obrigada a todos mais uma vez, meu sincero carinho!

## RESUMO

O monitoramento e controle sistemático do progresso de obras são essenciais para o desenvolvimento da produção de acordo com seu planejamento. No entanto, as práticas mais usuais para monitoramento do progresso são baseadas em observações individuais, coleta e extração manual de dados e dependentes de documentação textual. Visando a melhoria de tais aspectos, estudos apontam o uso de tecnologias digitais de dados visuais, como soluções que possibilitam um monitoramento mais rápido, confiável e transparente. Entretanto, apesar desta nova abordagem, é possível perceber ainda uma lacuna quanto à integração sistematizada das tecnologias de mapeamento 3D por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e *Building Information Modeling* (BIM) para o monitoramento do progresso, em relação às dinâmicas de gerenciamento das obras. O presente trabalho tem por objetivo propor, implementar e avaliar um método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em mapeamentos 3D de canteiros com uso de VANT e modelos BIM 4D, focado na sua integração ao processo de Planejamento e Controle da Produção. O trabalho foi desenvolvido com base na estratégia da *Design Science Research*, incluindo as seguintes etapas de pesquisa: (1) Conscientização: revisão da literatura, elaboração da estrutura conceitual do trabalho e compreensão do problema de pesquisa; (2) Sugestão do artefato: testes de ferramentas e processos relacionados ao método proposto, a partir de um estudo exploratório prático em canteiro, resultando na elaboração da proposta preliminar do artefato; (3) Desenvolvimento do artefato: estruturação e refinamento do escopo do método proposto a partir da sua implementação em dois estudos de caso em obras; (4) Avaliação: do método e dos resultados obtidos em suas implementações, a partir da definição de constructos e variáveis de pesquisa; e (5) Conclusão: formalização da estrutura final do método e apresentação de recomendações para sua implementação. Os estudos de caso para implementação e avaliação do método proposto aconteceram em obras localizadas na Região Metropolitana de Salvador - BA. A avaliação do método e de suas implementações foi desenvolvida com base nos seguintes constructos: (a) Impacto na identificação e avaliação do progresso; (b) Transparência; (c) Colaboração; (d) Utilidade do método proposto; e (e) Facilidade de adoção e integração do método. Tais constructos foram avaliados a partir dos resultados de dados coletados, produtos gerados durante as implementações, entrevistas estruturadas, feedback das equipes gerenciais das obras, e observação participante da pesquisadora. Como principais resultados, foi observado que a partir da implementação do método proposto é possível obter melhorias na identificação de desvios de progresso e das suas causas, na comunicação e integração da análise do progresso e tomada de decisão, além de aumento da transparência e colaboração no controle da produção. As contribuições principais deste trabalho estão relacionadas ao desenvolvimento e suporte à integração sistematizada das tecnologias propostas com as dinâmicas e rotinas de planejamento e controle de obras, e à melhor compreensão do impacto e valor agregado do fluxo de informações proporcionado pela adoção de tais tecnologias para o monitoramento do progresso de obras.

Palavras-chave: Monitoramento do progresso de obras. Mapeamento 3D de canteiros. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). *Building Information Modeling* (BIM). BIM 4D.

## ABSTRACT

The systematic monitoring and control of the construction progress are essential activities for an efficient construction management process as planned. However, the most common practices for progress monitoring are based on individual observations, manual collection and extraction of data, and rely on text-based documentation. In order to improve such aspects, studies highlight applications of visual data technologies, as solutions that enable a faster, reliable and transparent progress monitoring. Nevertheless, despite this new approach, little has yet been done for the systematic integration of the technologies of 3D mapping by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Building Information Modeling (BIM) for visual progress monitoring, into construction management systems routine. This study aims to propose, implement and evaluate a method for a systematic visual progress monitoring integrated into the production planning and control process, supported by 4D BIM and photogrammetric 3D mappings using UAS imagery. The study was developed based on Design Science Research strategy, including the following research steps: (1) Awareness: literature review, elaboration of the conceptual framework and understanding of the research problem; (2) Artifact suggestion: testing of tools and processes related to the proposed method, from an exploratory practical study in a construction site, resulting in the drafting of the preliminary proposal of the artifact; (3) Artifact development: structuring and refinement of the scope of the proposed method, from its implementation in two case studies in construction sites; (4) Evaluation: evaluation of the method and the results obtained in its implementations, from the definition of research constructs and variables; and (5) Conclusion: formalization of the final structure of the method and presentation of guidelines for its implementation. The case studies to implement and evaluate the proposed method took place in construction projects located in the metropolitan region of Salvador – BA. The evaluation of the method and of its implementation was developed from the following constructs: (a) Impact on the identification and evaluation of the construction progress; (b) Transparency; (c) Collaboration; (d) Usefulness of the proposed method; and (e) Easiness of adoption and integration of the method. Those constructs were evaluated based on the results of data collected, products developed during the implementations, structured interviews, feedback of the management teams of the construction projects, and participant observation of the researcher. The main findings indicated that the proposed method implementation enables an improved integration of progress analysis and decision-making, the improvement of progress deviations' identification and its main causes, and allowed increased transparency and collaboration in production control. The main contributions of this work are the development and support for a systematic integration of the proposed technologies into the construction planning and control routine, and a better understanding of the impact and added value of the flow of information provided by the adoption of such technologies for construction progress monitoring.

**Keywords:** Construction progress monitoring. Construction site 3D mapping. Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Building Information Modeling (BIM). 4D BIM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo com representação da dimensão horizontal do planejamento ....	13
Figura 2 – Ciclo contínuo de controle da produção .....	18
Figura 3 – Integração de tecnologias digitais para gestão visual ao ciclo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) definido por Laufer e Tucker (1987)..	30
Figura 4 – Representação do BIM ao longo de diferentes fases do ciclo de vida da edificação .....	35
Figura 5 – Sistema de monitoramento visual do progresso de obras proposto por Golparvar-Fard <i>et al.</i> (2009).....	50
Figura 6 – Exemplo de modelo 4D classificado por cores e sobreposto à imagem do estado real da construção, segundo o sistema proposto por Golparvar-Fard <i>et al.</i> (2009).....	51
Figura 7 – Funcionamento geral do sistema “ConstructAide” desenvolvido por Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014).....	52
Figura 8 – Principais etapas da abordagem de monitoramento visual automatizado do progresso proposta por Braun <i>et al.</i> (2015).....	53
Figura 9 – Exemplo de modelos visuais com classificação do progresso por cores apresentados por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015) .....	54
Figura 10 – Exemplo de ilustrações 3D do progresso proposta por Qu <i>et al.</i> (2017)	57
Figura 11 – Fluxo de informações previsto a partir da aplicação do sistema proposto por Han e Golparvar-Fard (2015b).....	58
Figura 12 – Esquema da estrutura conceitual da pesquisa ( <i>Conceptual Framework</i> ) .....	59
Figura 13 – Fluxo contínuo de atividades para monitoramento visual do progresso de obras adotado no presente trabalho, incluindo estrutura de conexão das tecnologias utilizadas .....	61
Figura 14 – Esquema com delineamento geral das etapas da pesquisa .....	64
Figura 15 – Obra A: (a) Ilustração do empreendimento em planta; (b) Ortofoto do canteiro no dia 16/03/2018.....	66
Figura 16 – Procedimento adotado para coleta de imagens com VANT e processamento fotogramétrico (geração de mapeamento 3D de canteiros).....	69
Figura 17 – Exemplo dos tipos de produtos fotogramétricos gerados no mapeamento 3D da Obra A: (a) Modelo de nuvem de pontos; (b) Modelo 3D texturizado; (c) Ortofoto .....	70
Figura 18 - Processos para geração dos modelos BIM da Obra A e testes de sobreposição da nuvem de pontos ao BIM 4D.....	73



Figura 19 – Imagens do modelo BIM 3D da Obra A.....	74
Figura 20 – Exemplo de modelos sobrepostos da Obra A (nuvem de pontos e BIM 4D) .....	75
Figura 21 – Obra B: (a) Ilustração do empreendimento em planta; (b) Ortofoto do canteiro no dia 13/12/2018.....	83
Figura 22 – Imagem do modelo BIM 3D da Obra B .....	87
Figura 23 - Estrutura analítica simplificada do presente trabalho ( <i>Analytical Framework</i> ).....	92
Figura 24 – Exemplos de EAPs para a atividade de revestimento de fachada de um dos prédios da Obra A: (a) EAP antes do ajuste; (b) EAP depois do ajuste (maior detalhamento) .....	100
Figura 25 – LOD do modelo BIM da Obra A: Exemplo visual do nível de desenvolvimento de informações atribuídas aos elementos de revestimento externo .....	101
Figura 26 - Exemplo de modelo sobreposto (nuvem de pontos e BIM) com os indicadores de cores para identificação do status de progresso em simulação 4D	103
Figura 27 - Fluxo de processos que compõem a proposta preliminar do método desenvolvido .....	106
Figura 28 – Fluxograma da arquitetura de software proposta para implementação do método desenvolvido .....	107
Figura 29 – Modelo do protocolo sugerido para apoio à coleta de dados no médio prazo .....	116
Figura 30 – Modelo do protocolo sugerido para apoio ao planejamento e controle de curto prazo .....	117
Figura 31 - Organograma da equipe gerencial da Obra A ligada ao PCP.....	118
Figura 32 - Estrutura geral do sistema de PCP adotado na Obra A.....	119
Figura 33 – Fluxo de processos do método proposto adaptados para implementação no Estudo de Caso 1 .....	121
Figura 34 - Modelos sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) referentes ao médio prazo, com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D .....	126
Figura 35 - Modelos sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) referentes ao longo prazo, com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D .....	127
Figura 36 - Gráficos mensais com impacto percentual das causas identificadas no total de desvio negativo de progresso da Obra A .....	129
Figura 37 - Organograma da equipe gerencial da Obra B ligada ao PCP.....	131

Figura 38 - Estrutura geral do sistema de PCP adotado na Obra B.....	132
Figura 39 - Fluxo de processos do método proposto adaptados para implementação no Estudo de Caso 2.....	135
Figura 40 - Uso de ortofoto para suporte à tomada de decisão em reunião semanal de coordenação da produção na Obra B .....	138
Figura 41 - Modelos sobrepostos da Obra B (BIM 4D + nuvem de pontos) com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D .....	140
Figura 42 – Comparação entre percentual de avanço real e percentual de avanço medido visualmente da Obra A e valores mensais de AMV (percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente).....	143
Figura 43 - Comparação entre percentual de avanço real e percentual de avanço medido visualmente da Obra B e valores mensais de AMV (percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente).....	146
Figura 44 - Elementos que fundamentam a estrutura do método proposto .....	164
Figura 45 - Estrutura final do método proposto: Fluxo de processos, produtos e agentes .....	168

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de tecnologias digitais como ferramentas de gestão visual em canteiros.....	29
Quadro 2 – Principais características da tecnologia de fotogrametria digital para o monitoramento do progresso de obras.....	45
Quadro 3 – Ações desenvolvidas e fontes de evidência para entendimento do sistema de PCP adotado na Obra A.....	68
Quadro 4 – Dados das coletas de campo com VANT na Obra A realizadas na etapa de estudo exploratório.....	72
Quadro 5 – Resumo de dados das atividades desenvolvidas durante a implementação do método proposto no Estudo de Caso 1.....	80
Quadro 6 - Caracterização da equipe gerencial da Obra A entrevistada no Estudo de Caso 1.....	82
Quadro 7 – Ações desenvolvidas e fontes de evidência para entendimento do sistema de PCP adotado na Obra B.....	85
Quadro 8 – Dados dos testes de coletas de campo com VANT e processamento de imagens do canteiro da Obra B.....	86
Quadro 9 – Resumo de dados das atividades desenvolvidas durante a implementação do método proposto no Estudo de Caso 2.....	90
Quadro 10 - Caracterização da equipe gerencial da Obra B entrevistada no Estudo 2.....	91
Quadro 11 – Estrutura analítica completa do trabalho: Constructos, variáveis e fontes de evidência para avaliação do artefato.....	96
Quadro 12 – Ferramentas sugeridas para apoio à implementação do método desenvolvido.....	108
Quadro 13 - Indicadores sugeridos para avaliação de desempenho, complementares ao monitoramento visual do progresso no método proposto.....	113
Quadro 14 – Fórmulas para cálculo dos indicadores sugeridos, complementares ao monitoramento visual do progresso no método proposto.....	115
Quadro 15 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao impacto do método proposto na identificação e avaliação do progresso.....	144
Quadro 16 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao impacto do método proposto na identificação e avaliação do progresso.....	147
Quadro 17 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao impacto do método proposto para a transparência na gestão do progresso da obra.....	149

Quadro 18 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao impacto do método proposto para a transparência na gestão do progresso da obra .....	150
Quadro 19 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao impacto do método proposto para a colaboração na gestão do progresso da obra .....	151
Quadro 20 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao impacto do método proposto para a colaboração na gestão do progresso da obra .....	153
Quadro 21 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto à utilidade do método proposto .....	154
Quadro 22 - Principais benefícios e dificuldades do método proposto avaliados pela equipe gerencial da Obra A.....	156
Quadro 23 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto à utilidade do método proposto .....	158
Quadro 24 - Principais benefícios e dificuldades do método proposto avaliados pela equipe gerencial da Obra B.....	159
Quadro 25 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto à facilidade de adoção e integração do método proposto.....	161
Quadro 26 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto à facilidade de adoção e integração do método proposto.....	163

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos testes de processamento de modelos de nuvem de pontos com “ <i>Média</i> ” e “ <i>Baixa qualidades de reconstrução</i> ” no software PhotoScan .....	99
Tabela 2 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no médio prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 1 .....	125
Tabela 3 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no longo prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 1 .....	127
Tabela 4 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B no médio prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 2 .....	139
Tabela 5 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B no longo prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 2 .....	141

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Percentual de Avanço (avanço físico – tempo de execução como referencial) .....	24
Equação 2 – Percentual de Avanço (valor agregado – valor orçado como referencial) .....	24
Equação 3 – Percentual de Atividades Completadas na Duração Prevista - PADP .	25
Equação 4 – Percentual de Atividades Iniciadas no Prazo - PAIP .....	25
Equação 5 – Desvio de Prazo da obra - DP.....	26
Equação 6 – Projeção de Prazo da obra - PP.....	26
Equação 7 – Percentual de Planos Concluídos - PPC.....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC1	Analista de Controle – Estudo de Caso 1
ACDP	Atividades Concluídas na Duração Prevista
AE1	Auxiliar de Engenharia – Estudo de Caso 1
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
AIPP	Atividades Iniciadas no Período Previsto
AMP	Acompanhamento Mensal de Produção
AMV	Avanço da obra que foi Medido Visualmente
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Avanço Planejado
AP1	Analista de Produção – Estudo de Caso 1
APA	Avanço Planejado Acumulado
APL1	Analista de Planejamento – Estudo de Caso 1
AR	Avanço Real
ARA	Avanço Real Acumulado
ARE	Atividades Reservas Executadas
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CO1	Coordenador a Obra – Estudo de Caso 1
CP	Curto Prazo
CP2	Coordenadora de Planejamento – Estudo de Caso 2
DP	Desvio de Prazo
DPLP	Desvio de Progresso no Longo Prazo
DPMP	Desvio de Progresso no Médio Prazo
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i>

DSR	<i>Design Science Research</i>
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
EE1	Estagiária de Engenharia – Estudo de Caso 1
EE2	Estagiária de Engenharia – Estudo de Caso 2
Eng.	Engenheiro (a)
EP2	Estagiário de Planejamento – Estudo de Caso 2
Exif	<i>Exchangeable image file format</i>
GETEC	Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GO1	Gerente da Obra – Estudo de Caso 1
GPS	<i>Global Positioning System</i>
hh	horas-homem
HSST	Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho
LOD	<i>Level of Development</i>
LP	Longo Prazo
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
Mp	Megapixel
MP	Médio Prazo
NP	Nuvem de Pontos
PA	Percentual de Avanço
PADP	Percentual de Atividades Completas na Duração Prevista
PAIP	Percentual de Atividades Iniciadas no Prazo
PAT	Projeção de Atraso
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PNE	Portadores de Necessidades Especiais



PP	Projeção de Prazo
PPC	Percentual de Planos Concluídos
Prod.	Produção
RA	Realidade Aumentada
Seg.	Segurança
SfM	<i>Structure from Motion</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	4
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA	8
1.3.1	Questão Principal	8
1.3.2	Questões Secundárias	8
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA	8
1.4.1	Objetivo Principal	8
1.4.2	Objetivos Secundários	8
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	9
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
<b>2</b>	<b>PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP) APLICADO AO GERENCIAMENTO DE OBRAS</b>	<b>11</b>
2.1	SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	11
2.2	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	12
2.2.1	Dimensão Horizontal do Planejamento	13
2.2.2	Dimensão Vertical do Planejamento – Níveis Hierárquicos	14
2.2.3	Divisão do Trabalho conforme Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e Pacotes de Trabalho	17
2.3	CONTROLE DA PRODUÇÃO	18
2.3.1	Monitoramento do Progresso da Obra	20
2.3.2	Ferramentas para Controle e Apoio ao Monitoramento do Progresso	22
2.4	CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO 2	31
<b>3</b>	<b>TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA O MONITORAMENTO VISUAL DO PROGRESSO DE OBRAS</b>	<b>33</b>
3.1	TECNOLOGIAS DE DADOS VISUAIS	33
3.2	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	35
3.2.1	Modelo BIM	36
3.2.2	BIM 4D	38
3.2.3	BIM 4D para o Monitoramento do Progresso de Obras	39
3.3	MAPEAMENTO 3D	40
3.3.1	Mapeamento 3D por Fotogrametria Digital	41

3.3.2	Mapeamento 3D por Fotogrametria Digital para o Monitoramento do Progresso de Obras .....	44
3.4	VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) .....	45
3.4.1	VANT para Mapeamento 3D e Monitoramento do Progresso de Obras.....	47
3.5	ESTUDOS QUE ABORDAM O USO DE TECNOLOGIAS DE DADOS VISUAIS PARA O MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE OBRAS ....	48
3.5.1	Uso da Tecnologia BIM .....	49
3.5.2	Uso da Tecnologia BIM e Nuvem de Pontos por Fotogrametria Digital.....	52
3.5.3	Uso da Tecnologia BIM e Nuvem de Pontos Geradas com Apoio de VANT.....	55
3.6	CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO 3 E ESTRUTURA CONCEITUAL DA PESQUISA .....	58
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>62</b>
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	62
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	63
4.3	ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO – REVISÃO DA LITERATURA.....	64
4.4	ETAPA DE SUGESTÃO DO ARTEFATO – ESTUDO EXPLORATÓRIO...65	
4.4.1	Caracterização Geral da Obra A .....	66
4.4.2	Entendimento do Sistema de PCP Adotado na Obra A .....	67
4.4.3	Testes de Ferramentas e Processos para Geração de Mapeamentos 3D Fotogramétricos do Canteiro com Uso de VANT.....	68
4.4.4	Testes de Ferramentas e Processos para Geração de Modelo BIM 4D e Sobreposição com Nuvem de Pontos .....	72
4.5	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO – ESTUDOS DE CASO.....	76
4.5.1	Implementação do Método Proposto no Estudo de Caso 1 .....	77
4.5.2	Caracterização Geral da Obra B .....	83
4.5.3	Implementação do Método Proposto no Estudo de Caso 2 .....	84
4.6	ETAPA DE AVALIAÇÃO DO ARTEFATO .....	91
4.6.1	Impacto na Identificação e Avaliação do Progresso da Obra .....	93
4.6.2	Transparência .....	93
4.6.3	Colaboração .....	94
4.6.4	Utilidade do Método Proposto .....	94
4.6.5	Facilidade de Adoção e Integração do Método Proposto aos Processos de Planejamento e Controle da Obra .....	95
4.7	ETAPA DE CONCLUSÃO – FORMATAÇÃO FINAL DO MÉTODO .....	97

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>98</b>
5.1	REQUISITOS PRÁTICOS PREPARATÓRIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO .....	98
5.1.1	Nível de Visibilidade Requerido à Nuvem de Pontos (Densidade).....	98
5.1.2	Nível de Detalhamento Requerido à Estrutura Analítica de Projeto (EAP).....	100
5.1.3	Nível de Desenvolvimento (LOD) Requerido ao Modelo BIM 3D .....	101
5.1.4	Sobreposição de Nuvem de Pontos ao Modelo BIM 4D no Software Navisworks para Identificação e Comunicação Visual do Progresso.....	101
5.2	PROPOSTA PRELIMINAR DO MÉTODO (ARTEFATO DA PESQUISA)	103
5.2.1	Etapa 1: Planejamento de Longo Prazo e Geração dos Modelos de Referência.....	109
5.2.2	Etapa 2: Planejamento de Médio Prazo e Monitoramento e Avaliação do Progresso da Obra com Apoio Visual .....	110
5.2.3	Etapa 3: Planejamento de Curto Prazo e Acompanhamento dos Pacotes de Trabalho com Apoio de Dados Visuais do Canteiro .....	116
5.3	IMPLEMENTAÇÕES DO MÉTODO PROPOSTO NOS ESTUDOS DE CASO.....	117
5.3.1	Estudo de Caso 1: Implementação do Método na Obra A .....	118
5.3.2	Estudo de Caso 2: Implementação do Método na Obra B .....	131
5.4	AVALIAÇÃO DAS IMPLEMENTAÇÕES DO MÉTODO PROPOSTO COM BASE NOS CONSTRUCTOS DE PESQUISA.....	142
5.4.1	Avaliação de Impactos na Melhoria da Dinâmica Gerencial de PCP das Obras com Foco na Atividade de Monitoramento do Progresso .....	142
5.4.2	Avaliação da Estrutura (Processos e Produtos) do Método Proposto.....	154
5.5	ESTRUTURA FINAL DO MÉTODO PROPOSTO E RECOMENDAÇÕES PARA SUA IMPLEMENTAÇÃO.....	164
5.5.1	Estrutura Final do Método Proposto.....	164
5.5.2	Recomendações para Implementação do Método Proposto.....	170
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>174</b>
6.1	CONCLUSÕES DO TRABALHO .....	174
6.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	183
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>185</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>194</b>
	<b>APÊNDICE 1: Checklist para programação da missão com VANT .....</b>	<b>194</b>

<b>APÊNDICE 2:</b> Checklist para missão com VANT e cadastro de dados do voo (DJI Phantom).....	197
<b>APÊNDICE 3:</b> Protocolo de entrevista – Roteiro para entendimento do sistema de gestão da produção (planejamento e controle).....	199
<b>APÊNDICE 4:</b> Protocolo de entrevista – Versão completa do roteiro para avaliação do método proposto para monitoramento visual do progresso de obras.....	202
<b>APÊNDICE 5:</b> Modelo de planilha para apoio ao planejamento e controle de médio prazo (mensal) adaptada para a Obra A (Estudo de Caso 1) .....	211
<b>APÊNDICE 6:</b> Modelo de planilha para apoio ao planejamento e controle de curto prazo (semanal) adaptada para a Obra A (Estudo de Caso 1).....	212
<b>APÊNDICE 7:</b> Exemplo de relatório mensal de progresso usado no Estudo de Caso 1 – Referente ao 1º ciclo mensal de implementação do método na Obra A (abril de 2018) .....	213
<b>APÊNDICE 8:</b> Exemplo de relatório quinzenal de progresso usado no Estudo de Caso 2 – Referente ao final do 3º ciclo mensal de implementação do método na Obra B (fevereiro de 2019) .....	214
<b>APÊNDICE 9:</b> Caracterização completa dos ciclos de implementação do método proposto na Obra A (Estudo de Caso 1).....	218
<b>APÊNDICE 10:</b> Caracterização completa dos ciclos de implementação do método proposto na Obra B (Estudo de Caso 2).....	223

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

As obras de construção civil são, em geral, caracterizadas por um elevado grau de dinamismo, complexidade e diversidade de atividades, bem como elevada fragmentação e especialização de processos (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015; TUTTAS *et al.*, 2017).

De acordo com Tuttas *et al.* (2017), tais características estão associadas à imprevisibilidade de questões externas (como condições climáticas adversas e atrasos de fornecedores), às fortes dependências entre etapas de construção, à ausência de sequências únicas dos processos, ao grande número de atividades, equipamentos e pessoas presentes no canteiro de obras, e ao fato dos produtos construídos serem, em sua maioria, únicos, associados a diferentes tipos de materiais, a processos construtivos diversos e sequências executivas específicas.

Pelos motivos expostos, a probabilidade de desvios entre o estado atual da construção e estado planejado é bastante significativa (TUTTAS *et al.*, 2017). Para que o desenvolvimento da etapa de produção ocorra conforme previsto em etapas de planejamento, faz-se necessário o monitoramento e controle sistemático e contínuo de suas operações e progresso.

Del Pico (2013) define o monitoramento do progresso da obra, que está intrinsecamente relacionado ao avanço físico das atividades de construção, como uma série de passos e métricas estabelecidos, que objetivam avaliar o desempenho do avanço atual e compará-lo com o desempenho do avanço planejado, identificando desvios (diferenças entre o planejado e o atual executado). Martínez-Rojas, Marín e Vila (2016) complementam afirmando que para o controle efetivo do progresso, os desvios negativos não devem ser somente identificados a partir do monitoramento, mas também analisados e mitigados pela implementação de ações corretivas.

Dessa forma, o controle do progresso pode ser considerado como um dos processos fundamentais para o gerenciamento eficaz de uma obra (DEL PICO, 2013). Para Yang *et al.* (2015) e Braun *et al.* (2015), o controle do progresso é um elemento chave para o direcionamento da produção e cumprimento das metas traçadas no planejamento. Sua aplicação busca principalmente evitar os efeitos negativos

associados a desvios de planejamento, como atrasos, aumento dos custos previstos, desorganizações nas programações dos insumos, entre outros (TUTTAS *et al.*, 2017).

Entretanto, para que o controle do progresso da obra ocorra de maneira eficaz, os gestores necessitam de um sistema de monitoramento robusto, que se mantenha constantemente atualizado em relação às informações de projeto, planejamento, custo, e, principalmente, aos dados de desempenho da obra (GOLPARVAR-FARD *et al.*, 2009). Estes dados devem ser medidos e apresentados de maneira compreensível e periódica, de forma que as decisões a respeito do controle da produção possam ser tomadas da maneira rápida e fácil (GOLPARVAR-FARD *et al.*, 2009).

Autores como Golparvar-Fard *et al.* (2009), Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015), Teizer (2015) e Yang *et al.* (2015) argumentam que os procedimentos e ferramentas mais usuais para medição e comunicação do progresso, incluindo gráficos com percentuais de avanço físico, cronograma de datas, diagramas de barras (gráfico Gantt), relatórios textuais de progresso, e até mesmo relatórios fotográficos, possuem alguns desafios. Dentre estes desafios, destacam-se:

- as práticas usuais para monitoramento do progresso são normalmente demoradas e propensas a erros, pois dependem de coleta e extração manual de dados, tanto de dados de medição em campo, quanto dados de projetos, planejamento e documentações (cronogramas, desenhos e relatórios);
- a qualidade e real impacto das informações de progresso são muitas vezes comprometidos, pois dependem dos dados manualmente coletados pelo pessoal de campo, que tendem a ser baseados em interpretações pessoais subjetivas a respeito do que precisa ser medido, da maneira como será medido e de como precisa ser apresentado;
- em muitos casos é utilizada a medição dos insumos gastos como parâmetro para medição do avanço das atividades, em substituição às medições efetivas do que foi realmente executado em canteiro, comprometendo a qualidade e desempenho do monitoramento do progresso;
- a elaboração de relatórios, gráficos e cronogramas com os resultados de progresso demandam um trabalho prévio e intensivo de interpretação, análise e revisão de dados, o que acaba por criar um distanciamento e atraso na troca de informações entre o campo e a gerência;

- os resultados de progresso são geralmente expostos em gráficos e relatórios textuais que são pouco visuais e intuitivos, e que não expressam de forma conjunta a quantidade e qualidade daquilo produzido, bem como não representam o avanço de maneira espacialmente posicionado no canteiro;
- os métodos usuais para comunicação do progresso demandam um tempo significativo das reuniões de gerenciamento com atividades que não agregam valor, incluindo explicações a respeito da situação atual da obra, visto que seu entendimento muitas vezes não é tão claro e rápido a partir dos gráficos e relatórios de progresso. Isto acaba por atrasar o processo de tomada de decisão em relação a ações corretivas e novas alternativas para a produção.

Pensando na melhoria dos problemas apresentados, a indústria da construção civil vem apostando no desenvolvimento de novas técnicas gerenciais e, principalmente, na adoção de novas tecnologias (KANG *et al.*, 2013). O cenário atual da indústria da construção encontra-se em transformação, marcado pela incorporação de tecnologias digitais e de uma produção mais inteligente, impulsionada pelo contexto da indústria.4.0.

Neste novo cenário, a indústria da construção 4.0 caracteriza-se principalmente pela digitalização e automatização de seus processos, acesso a grandes volumes de informação, interoperabilidade, troca e gerenciamento de dados em tempo real (WORD ECONOMIC FORUM, 2016). Pela adoção de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), a construção civil vem buscando formas de aumentar sua produtividade, eficiência e qualidade (WORD ECONOMIC FORUM, 2016).

No tocante ao aprimoramento e modernização do monitoramento do progresso de obras, em um contexto no qual a digitalização da gestão em canteiros vem sendo valorizada, estudos recentes apontam o uso de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais, tais como, imagens e vídeos, reconstrução 3D de ambientes, modelos 3D e simulações 4D (TEIZER, 2015; YANG *et al.*, 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

Segundo Tezel e Aziz (2017) e Han, Degol e Golparvar-Fard (2018), o uso dessas tecnologias pode contribuir na redução de atividades que não agregam valor e que demandam tempo e recursos, associadas ao monitoramento de obras. Tais benefícios estão principalmente relacionados à automatização de algumas tarefas e possibilidade de uma gestão visual integrada entre o planejamento e o controle da



produção, tornando o processo de monitoramento do progresso mais transparente, colaborativo e eficiente (TEZEL; AZIZ, 2017; LIN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre as tecnologias que possibilitam a representação visual do projeto e planejamento, o *Building Information Modeling* (BIM), na forma de modelos 4D, destaca-se por seu grande potencial para o monitoramento visual do progresso.

Segundo Eastman (1999), *Building Information Modeling* (BIM) corresponde ao processo de gestão de informações envolvidas em todas as fases do ciclo de vida da edificação, por meio da utilização de um modelo digital paramétrico que representa as características físicas e funcionais do empreendimento. Assim, os modelos BIM possuem informações sobre diferentes aspectos do processo de concepção, construção, operação e manutenção da edificação (SALEHI; YITMEN, 2018). Tais informações incluem, por exemplo, dados de projeto (modelo BIM 3D), informações sobre o processo construtivo e sobre o planejamento e cronograma da obra (modelo BIM 4D), e dados de custo (modelo BIM 5D) (MALSANE; SHETH, 2015).

Os modelos BIM 4D são definidos por Wang *et al.* (2014) como modelos que integram componentes da edificação e elementos da construção representados em três dimensões, ao componente tempo (quarta dimensão), extraído do planejamento e cronograma da obra. Para o monitoramento visual do progresso, o BIM 4D funciona como a base de representação do progresso planejado, utilizado como a referência na comparação visual entre o estado planejado e o estado real do canteiro (progresso atual da obra) (HAN; CLINE; GOLPARVAR-FARD, 2015).

Já em relação às ferramentas mais utilizadas para registro visual do atual estado de canteiros, pode-se identificar o uso de câmeras digitais e de diferentes dispositivos com câmeras integradas, como *smart phones*, *tablets*, e veículos não tripulados terrestres e aéreos, além de dispositivos de varredura a laser (TEIZER, 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017). Dentre estes, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), caracterizados como aeronaves remotamente pilotadas que operam sem piloto a bordo (KIM; IRIZARRY, 2015), têm se destacado por suas vantagens.

Segundo Han e Golparvar-Fard (2015b), devido ao seu crescente desenvolvimento, o VANT tem se apresentado como uma ferramenta confiável e de fácil operação em canteiros de obras para registro de dados visuais. Tal característica

está principalmente relacionada aos VANTs de menor porte e operados por sistemas de hélices rotativas, que permitem melhor controle, estabilidade e flexibilidade de voo, juntamente com a possibilidade de acoplar sensores como câmeras digitais e dispositivo GPS (*Global Positioning System*) (MCCABE *et al.*, 2017; MELO *et al.*, 2017). Além disso, por possibilitar um registro de imagens do canteiro de forma rápida, completa, de diferentes posicionamentos e com maior controle dos parâmetros de captura, o potencial do VANT para apoio ao monitoramento do progresso vem sendo explorado por alguns estudos recentes (LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; MCCABE *et al.*, 2017, TUTTAS *et al.*, 2017; QU *et al.*, 2017).

Associados às ferramentas de coleta de dados, os produtos visuais mais utilizados para a representação do atual estado da obra incluem fotografias (terrestres e aéreas), imagens de satélite, vídeos e reconstruções 3D do canteiro de obras (YANG *et al.*, 2015). Dentre estes, estudos apontam a utilização crescente de mapeamentos 3D de canteiros, e obtenção de bons resultados a partir do uso desta ferramenta para o monitoramento visual do progresso (YANG *et al.*, 2015; GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

Os mapeamentos 3D estão associados a representações digitais tridimensionais de cenas reais (reconstrução da geometria, posicionamentos e texturas dos elementos que compõem a área mapeada), por meio da aquisição remota de dados visuais (REMONDINO, 2011; BEMIS *et al.*, 2014; ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018). Estes podem ser gerados por varredura a laser, com *laser scanners*, ou com uso da fotogrametria digital. A fotogrametria digital funciona a partir do processamento de fotografias digitais 2D, sendo geradas informações 3D pela identificação da correspondência entre as imagens (REMONDINO, 2011; BEMIS *et al.*, 2014).

Grande parte dos estudos que apresentam estes mapeamentos 3D para o monitoramento do progresso, o utilizam na forma do produto fotogramétrico de nuvem de pontos. Estes modelos de nuvem de pontos são gerados afim de representar visualmente o canteiro de obras em diferentes momentos, associado às fases e mudanças da construção, a partir de aquisições e processamentos periódicos de imagens (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017; LIN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

Em abordagens de uso conjunto dessas tecnologias para o monitoramento visual do progresso, as nuvens de pontos geradas a partir de imagens registradas com VANTs são utilizadas em sobreposição ao modelo BIM 4D (LIN; GOLPARVAR-FARD,

2017; HAN; DEGOL; GOLPARVAR-FARD, 2018). Esta prática tem por objetivo a análise do desempenho do progresso da obra pela comparação visual da condição real (mapeamento 3D) com a planejada (BIM 4D), sendo possível a identificação das conformidades e dos desvios de progresso (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

Han e Golparvar-Fard (2017) e Han, Degol e Golparvar-Fard (2018) comentam que o uso de nuvem de pontos do atual estado da obra, e a sobreposição e comparação destas com representações visuais do planejamento em modelos BIM 4D, permite uma avaliação mais compreensível e transparente quanto ao cumprimento das metas planejadas. Conseqüentemente, há uma melhoria do processo de tomada de decisão para condução da produção e implementação de ações corretivas, visando mitigar possíveis desvios de prazo, de custo e outros aspectos negativos relacionados (LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015).

No entanto, apesar do crescente desenvolvimento de estudos que abordam o uso de mapeamento 3D e BIM 4D para o monitoramento do progresso de obras (BRAUN *et al.*, 2015; LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015a; TUTTAS *et al.*, 2017; SON; KIM; CHO, 2017; HAN; DEGOL; GOLPARVAR-FARD, 2018), boa parte destes estão principalmente focados no desenvolvimento e automatização do processamento digital de dados e das funcionalidades tecnológicas em si.

Muitos dos trabalhos concentram-se na busca por automatização das técnicas de processamento de imagens (BRAUN *et al.*, 2015; LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; TUTTAS *et al.*, 2017), detecção e reconhecimento automáticos de objetos (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015a; LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015), detecção automática de correspondência e alinhamento automático entre modelos de nuvem de pontos e modelos BIM (BRAUN *et al.*, 2015; LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; SON; KIM; CHO, 2017; TUTTAS *et al.*, 2017), e algoritmos para identificação automatizada do status de progresso de atividades (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015a; SON; KIM; CHO, 2017; HAN; DEGOL; GOLPARVAR-FARD, 2018).

Nesse contexto, é possível identificar uma lacuna quanto a abordagens para integração sistematizada das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D para o monitoramento do progresso, às dinâmicas de gerenciamento das obras. Esta integração pode ser considerada como de grande relevância do ponto de vista gerencial. Tal relevância relaciona-se ao fato de que o monitoramento do progresso é

uma atividade essencial para o controle da produção, que deve estar inserida na rotina gerencial dos canteiros (DEL PICO, 2013), e que depende do comprometimento e interação das equipes gerenciais para o uso de tais tecnologias com este propósito.

Dentre os estudos relacionados à temática, é possível perceber que tal integração do ponto de vista gerencial é relativamente pouco abordada, apresentando baixa frequência e menor aprofundamento. Kopsida, Brilakis e Vela (2015) e Han, Degol e Golparvar-Fard (2018) afirmam que embora haja um crescente reconhecimento entre pesquisadores de que tecnologias e ferramentas de análise visual podem melhorar a comunicação e avaliação do progresso das obras, pouco ainda é feito em relação à formalização, desenvolvimento, implementação e validação de métodos baseados em tecnologias como BIM e mapeamento 3D com uso de VANT, permitindo a otimização do controle do progresso.

Além disso, pouco enfoque é dado quanto a associação de análises visuais do progresso de obras, a partir do uso de tais tecnologias, com outras importantes ferramentas gerenciais para controle da produção, como, por exemplo, o uso de indicadores de desempenho. Os indicadores de desempenho têm sua relevância destacada por auxiliar no controle dos objetivos e metas estratégicas da obra, ao quantificar as capacidades reais da produção (valores reais medidos para os indicadores), em comparação aos níveis de desempenho esperado (valores de referência dos indicadores) (OLIVEIRA, 1999).

Dessa maneira, a abordagem do presente trabalho se justifica pela necessidade em se propor, implementar e avaliar um método estruturado e integrado que contemple uma sistemática de preparação, coleta, processamento, análise e tomada de decisão em relação ao controle do progresso da obra, a partir do uso das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D, juntamente com informações complementares de indicadores de desempenho. Este trabalho também possui como motivação a necessidade de melhor compreender o impacto do fluxo de informações e valor agregado, proporcionado pela adoção dessas tecnologias para o monitoramento do progresso, dentro da rotina de planejamento e controle das obras. Por fim, busca-se ainda destacar os principais benefícios e limitações do ponto de vista gerencial associados a este novo fluxo de informações.

Tal abordagem possui sua relevância associada ao caráter relativamente recente de uso dessas tecnologias para monitoramento do progresso de obras e, por

consequência, à carência de estudos que abordem sua aplicação de maneira integrada, visando incorporação sistemática às rotinas de planejamento e controle.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

#### 1.3.1 Questão Principal

Como integrar o monitoramento visual do progresso de obras por meio das tecnologias de mapeamento 3D com uso de VANT e BIM, ao processo de Planejamento e Controle da Produção?

#### 1.3.2 Questões Secundárias

Este trabalho possui as seguintes questões de pesquisa secundárias:

- Como organizar uma rotina gerencial para uso integrado das tecnologias de mapeamento 3D com uso de VANT e BIM 4D, juntamente com indicadores de desempenho complementares, como as fontes de informação para o monitoramento do progresso da obra?
- Qual o impacto das informações obtidas pela aplicação das tecnologias de mapeamento 3D com uso de VANT e BIM 4D, para a melhoria do monitoramento do progresso de obras?
- Quais principais recomendações práticas podem ser seguidas como forma de orientar a utilização integrada de tecnologias de mapeamento 3D com uso de VANT e BIM 4D para o monitoramento do progresso, como parte das dinâmicas gerenciais de planejamento e controle de obras?

### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

#### 1.4.1 Objetivo Principal

Propor e avaliar um método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em mapeamentos 3D de canteiro com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D, focado na sua integração ao processo de Planejamento e Controle da Produção.

#### 1.4.2 Objetivos Secundários

Esta pesquisa possui como objetivos secundários:

- Desenvolver e implementar uma sistemática gerencial para uso integrado e periódico das tecnologias de mapeamento 3D com VANT e BIM 4D, como as principais fontes de informação para o monitoramento do progresso da obra;
- Propor o uso integrado de indicadores de desempenho, como fontes de informação complementar ao monitoramento visual do progresso realizado com uso das tecnologias propostas;
- Identificar e avaliar o impacto e valor agregado do fluxo de informações proporcionado pela implementação do método proposto, para a melhoria do monitoramento do progresso e do planejamento e controle da obra no geral;
- Propor recomendações para implementação do método proposto, visando sua integração ao planejamento e controle e às práticas gerenciais de obras.

#### 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os requisitos considerados como delimitadores do escopo da pesquisa são:

- as atividades visualmente monitoradas no método proposto são aquelas possíveis de serem acompanhadas de uma perspectiva externa às edificações, por limitação da tecnologia de captura de imagens utilizada (o Veículo Aéreo Não Tripulado), em termos de condições seguras de operação. No entanto, destaca-se, no método proposto, que as medições físicas diretas das atividades internas foram integradas às avaliações visuais das atividades externas para determinação do progresso geral das obras;
- a pesquisa foi realizada com um tipo específico de Veículo Aéreo Não Tripulado: VANT quadricoptero de asas rotativas com câmera e GPS integrados. Este foi escolhido pela maior facilidade de operação, preço mais acessível, e principalmente maior compatibilidade com a proposta de uso, em termos de dispositivos, sensores, tamanho e modo de pouso e decolagem;
- os mapeamentos 3D de canteiros desenvolvidos neste trabalho foram gerados pelo processamento fotogramétrico automático de imagens georreferenciadas, com geração inicial de modelo de nuvem de pontos. Tais imagens foram obtidas por câmera digital associada a dispositivo GPS acoplados ao VANT, sem testar outros tipos de sensores, nem outros tipos de dados visuais para registro e representação do estado real dos canteiros. Tal delimitação está relacionada à facilidade de aquisição e relativo baixo custo

dos sensores utilizados e do bom desempenho apresentado pelos produtos visuais gerados a partir dessa técnica de mapeamento 3D (conforme relatado em estudos prévios), além da automatização e facilidade de uso do software fotogramétrico escolhido, o PhotoScan da empresa Agisoft;

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, sendo o presente capítulo (**Capítulo 1**) referente à introdução, ao qual esta seção faz parte, juntamente com a contextualização e justificativa do trabalho, apresentação da problemática de pesquisa, as questões, os objetivos e a delimitação do estudo, com já apresentados.

Nos **Capítulos 2 e 3** é apresentada a revisão da literatura que fundamenta esta pesquisa. No **Capítulo 2** são abordados conceitos e definições relacionadas ao sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) aplicado ao gerenciamento de obras, com foco no controle da produção e monitoramento do progresso. No **Capítulo 3** é explorado o uso de tecnologias digitais, que possuem representação de dados visuais, para o monitoramento visual do progresso de obras, sendo apresentadas as três tecnologias que compõem o escopo da pesquisa: *Building Information Modeling* (BIM), mapeamento 3D, e Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

O **Capítulo 4** refere-se à metodologia de pesquisa utilizada, com a descrição da estratégia de pesquisa adotada, das etapas de pesquisa e das ferramentas utilizadas (equipamentos, softwares, protocolos para coleta de dados, etc.). No capítulo são apresentados o estudo exploratório e os estudos de caso desenvolvidos, além da estrutura analítica do trabalho (constructos, variáveis e fontes de evidência).

No **Capítulo 5** são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. O capítulo inicia com os resultados experimentais do estudo exploratório e apresentação da estrutura geral simplificada do método proposto. Em seguida são apresentados os resultados da implementação do método nos estudos de caso, tendo como base para discussão os constructos de pesquisa definidos para a avaliação. Por fim, ainda é apresentada a estrutura detalhada da versão final do método proposto e recomendações para sua implementação em obras.

No último capítulo, o **Capítulo 6**, são discutidas as conclusões do trabalho, incluindo suas contribuições e impactos avaliados a partir dos resultados, além de apresentar possíveis desdobramentos e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP) APLICADO AO GERENCIAMENTO DE OBRAS

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos e definições relacionadas ao sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) aplicado ao gerenciamento de obras. Inicialmente são apresentados a definição e principais benefícios do PCP, bem como os conceitos gerais relativos ao planejamento da produção, incluindo sua definição, suas dimensões horizontal e vertical, e conceitos relacionados à divisão dos trabalhos conforme Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e pacotes de trabalho.

Em seguida são apresentados conceitos e definições referentes ao controle da produção (principal processo do sistema de PCP relacionado ao escopo do presente trabalho e principal foco deste capítulo), destacando a atividade de monitoramento do progresso da obra. São também apresentadas importantes ferramentas e estratégias gerenciais para apoio ao controle da produção e monitoramento do progresso, como indicadores de desempenho e ferramentas de gestão visual.

### 2.1 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

O sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP), aplicado ao contexto da construção civil, pode ser definido como a combinação entre o planejamento da produção, coordenação de recursos (materiais e mão de obra), controle da capacidade de produção e da carga de trabalho, liberação dos serviços para execução, e controle das unidades de produção (BALLARD; HOWELL, 1998). Oberlender (2000) ressalta que o PCP deve ser considerado como um processo, com início antes da obra e que deve ser continuamente desenvolvido ao longo de todo o período de construção, e não ser tratado como atividades pontuais. Tal processo representa a base para coordenação, comunicação e avaliação dos trabalhos de todas as partes envolvidas na execução da obra (OBERLENDER, 2000).

Como principais consequências e benefícios de um sistema de PCP bem estruturado e aplicado, Oberlender (2000) destaca:

- melhor atendimento aos prazos determinados;
- fluxo de trabalho contínuo;
- redução da quantidade de retrabalhos e redução de variabilidades negativas;



- minimização de falhas na troca de informações entre os envolvidos;
- melhor conhecimento do status e desempenho atual da construção por todos (maior transparência no monitoramento da produção);
- maior controle sobre o processo construtivo e sobre o produto desenvolvido;
- resultados do controle da produção obtidos em tempo hábil e apresentados de maneira a serem facilmente compreendidos;
- melhor atribuição de responsabilidades às pessoas envolvidas;
- melhor conhecimento da distribuição dos gastos ao longo da obra;
- compreensão clara de quem deve fazer o que, quando, o quanto e onde;
- melhor colaboração, integração e engajamento das equipes da obra;
- melhor atendimento aos objetivos quanto à qualidade, prazos e custo.

## 2.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Segundo Isatto *et al.* (2000) e Bernardes (2003), o processo gerencial de planejamento da obra consiste fundamentalmente na definição de metas e objetivos que nortearão o processo construtivo, juntamente com os procedimentos necessários para que tais objetivos sejam alcançados. Tommelein e Ballard (1997) comentam que o objetivo do planejamento é tornar a construção um processo mais gerenciável, estando associado à identificação, seleção e organização das atividades de produção, de forma que possam ser executadas com eficiência.

De uma maneira mais específica, para Laufer e Tucker (1987) e Laufer e Cohenca (1990), o planejamento é um processo de tomada de decisão que se refere à determinação do que deve ser feito (definição das atividades); de como cada atividade deve ser executada (os métodos aplicados); de quando essas atividades serão executadas (sequência e tempo de execução); de quem serão os responsáveis e do que é necessário para executar cada atividade (relação de recursos e custos).

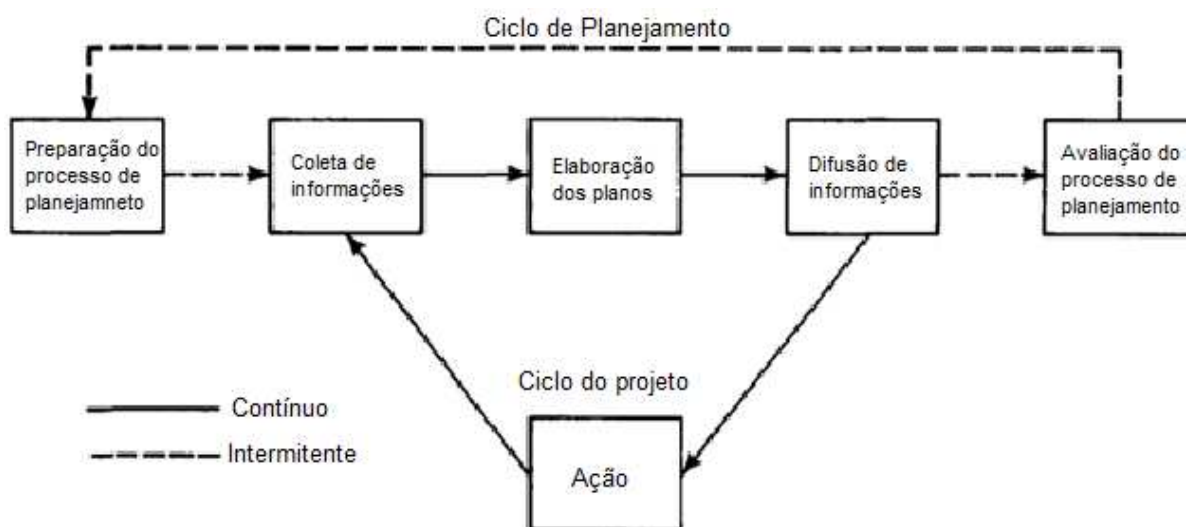
Em relação às diferentes dimensões definidas para o planejamento da produção, Laufer e Tucker (1987) discutem que o planejamento pode ser organizado segundo uma dimensão horizontal e outra vertical. A dimensão horizontal representa a abordagem do planejamento em conjunto ao controle da produção, como um processo contínuo e cíclico. Já a dimensão vertical corresponde à divisão do planejamento em

níveis hierárquicos, definidos por diferentes graus de detalhamento e associados a componentes específicos do planejamento e controle (LAUFER; TUCKER, 1987).

### 2.2.1 Dimensão Horizontal do Planejamento

Seguindo a abordagem do Planejamento e Controle da Produção como um processo cíclico, Laufer e Tucker (1987) apresentam a dimensão horizontal do planejamento conforme o modelo ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo com representação da dimensão horizontal do planejamento



Fonte: Adaptado de Laufer e Tucker (1987)

Em relação às cinco principais etapas que compõem o modelo apresentado na Figura 1, Laufer e Tucker (1987) as classificam e definem da seguinte maneira:

- 1) Preparação do processo de planejamento: nessa etapa são definidos os procedimentos e padrões a serem adotados nas demais etapas do planejamento. Entre as principais decisões incluem-se a definição dos níveis hierárquicos de planejamento, seus horizontes de tempo, escopo e nível de detalhamento; definição dos principais envolvidos no planejamento e controle e suas responsabilidades; escolha das técnicas e ferramentas para o planejamento e controle; e formatação do fluxo de informações envolvidas no processo (LAUFER; TUCKER, 1987; BERNARDES, 2003; DEL PICO, 2013).
- 2) Coleta de informações: esta etapa compreende a coleta de informações da produção, necessárias para a elaboração dos planos (BERNARDES, 2003). Como exemplos dessas informações, Laufer e Tucker (1987) e Del Pico (2013) destacam contratos; plantas e especificações de projetos; relatórios

que informem as condições físicas e ambientais do canteiro; dados do progresso das atividades; informações sobre as tecnologias e equipamentos construtivos; informações sobre os recursos internos e externos utilizados na produção (materiais e mão de obra), incluindo disponibilidade, custo, restrições e dados de produtividade; além de metas e restrições estabelecidas pela alta gerência, órgãos regulamentadores e autoridades externas.

- 3) Elaboração dos planos: com base nas informações coletadas anteriormente, nesta etapa são gerados os planos, utilizando técnicas de planejamento. Para Bernardes (2003), esta é geralmente a etapa que recebe maior atenção, sendo muitas vezes até confundida com o próprio processo de planejamento.
- 4) Difusão de informações: nessa etapa as informações relativas ao planejamento são transmitidas para os diferentes intervenientes do processo. Laufer e Tucker (1987) comentam que a apresentação dessas informações deve ocorrer de acordo com as necessidades dos usuários, segundo formato, periodicidade e nível de detalhe adequado a cada tipo de receptor.
- 5) Avaliação do processo de planejamento: esta etapa corresponde a avaliações periódicas durante o período de construção e também ao final da obra, visando a melhoria dos processos adotados e da sistemática de planejamento a ser adotada em empreendimentos futuros. O controle do processo de planejamento deve incluir medições de resultados (por exemplo, medição da aderência ao planejamento) e medições de processo (por exemplo, medição da extensão de uso dos planos). Estas medições são baseadas em dados factuais e percepções dos usuários (LAUFER; TUCKER, 1987).

Como mostrado no modelo da Figura 1, as cinco etapas descritas, juntamente com a etapa de ação que corresponde à implementação do que foi definido nos planos, formam dois ciclos. O ciclo geral de planejamento, que possui caráter intermitente, e o ciclo de planejamento e controle aplicado diretamente à execução da obra, que tem como característica a continuidade e repetitividade ao longo da construção, segundo os diferentes níveis hierárquicos (LAUFER; TUCKER, 1987).

### **2.2.2 Dimensão Vertical do Planejamento – Níveis Hierárquicos**

Laufer e Tucker (1987) afirmam que o planejamento é um processo que envolve vários estágios e níveis, ou seja, que deve apresentar uma estrutura hierárquica

sistemática. Nessa estrutura, cada nível está relacionado a um grau específico de detalhamento das informações obtidas e demandadas, além de apresentarem objetivos, alcance e limitações próprias (LAUFER; TUCKER, 1987).

Segundo Bernardes (2003), um dos principais objetivos da hierarquização do planejamento é proteger a produção, minimizando os efeitos negativos das incertezas e de variabilidades. Tais incertezas e variabilidades são características inerentes ao processo construtivo, em função da complexidade e diversidade do produto (empreendimento), do ambiente (canteiro de obras) e do ritmo de produção. Dessa forma, são necessários níveis de planejamento compatíveis com o estágio e necessidades da produção, de maneira a torná-la menos vulnerável às incertezas e variabilidades, evitando interrupções, mudanças bruscas de ritmo, entre outros problemas (BERNARDES, 2003).

Nesse sentido, a literatura define quatro níveis hierárquicos de planejamento e controle: (1) Planejamento de longo prazo; (2) Planejamento de fase; (3) Planejamento de médio prazo; e (4) Planejamento de curto prazo. Destes, os três principais (mais comumente utilizados) são os planejamentos de longo, médio e curto prazo. Autores como Ballard (2000), Isatto *et al.* (2000), Bernardes (2001; 2003) e Ballard e Tommelein (2016) caracterizam esses quatro níveis como:

- 1) Planejamento de longo prazo (planejamento estratégico): corresponde ao planejamento geral da obra (plano mestre), envolvendo a definição dos objetivos e restrições globais, como prazo final, marcos chave e orçamento. Entre os níveis de planejamento, o longo prazo possui informações com maior abrangência e menor nível de detalhe. Na preparação do plano mestre são definidos os ritmos das equipes de produção e estratégias para atingir os objetivos traçados. São utilizadas diferentes técnicas para a elaboração deste plano, como gráfico Gantt, redes ou diagramas de precedência, e linha de balanço. Nesse nível ocorre também a elaboração do fluxo de caixa e da programação dos recursos que requerem longos prazos de aquisição.
- 2) Planejamento de fase: este é um nível específico do sistema *Last Planner*<sup>1</sup>. Dentro do escopo do *Last Planner*, o planejamento de fase funciona como

---

<sup>1</sup>O sistema *Last Planner* é definido por Ballard (2000) como uma filosofia, regras e procedimentos ligados ao controle da unidade de produção e ao controle do fluxo de trabalho, além de um conjunto de ferramentas que facilitam a implementação desses procedimentos.

uma conexão entre os planejamentos de longo e de médio prazo. Ballard e Tommelein (2016) explicam que no planejamento de fase as atividades de produção são especificadas por fase da obra. Em cada fase, as atividades correspondentes são listadas, sequenciadas e é definida a carga de trabalho possível de ser executada, partindo das metas do planejamento de longo prazo e direcionando a análise e condução dessas atividades à nível de planejamento de médio prazo (BALLARD; TOMMELEIN, 2016).

- 3) Planejamento de médio prazo (planejamento tático): compreende as atividades de seleção, aquisição e planejamento dos recursos, fontes de informações, e outros aspectos necessários para atingir os objetivos traçados nos níveis anteriores (remoção de restrições), considerando aquilo já efetivamente feito (informações do controle no curto prazo). O planejamento de médio prazo possibilita uma melhor análise e ajuste dos fluxos de trabalho, por meio da compatibilização da capacidade de produção com a quantidade de trabalho necessária. Isso é feito a partir da divisão das atividades planejadas no longo prazo e no planejamento de fase, em pacotes de trabalho que serão gerenciados no curto prazo. Este nível possui geralmente ciclos com alcance de dois a três meses, com replanejamento mensal ou quinzenal;
- 4) Planejamento de curto prazo (planejamento operacional): orienta diretamente a produção, pela definição e detalhamento das próximas atividades a serem executadas, indicando os recursos e datas. Este nível de planejamento possui ciclo normalmente semanal, no qual os pacotes de trabalho definidos no nível de médio prazo são atribuídos às equipes de produção, e é avaliado o cumprimento das atividades planejadas no ciclo de curto prazo anterior, incluindo o controle das causas de não cumprimento. O curto prazo possui grande ênfase no engajamento das equipes com as metas planejadas.

Cada um dos níveis hierárquicos apresentados requer um grau específico de detalhamento das informações, em função do grau das incertezas associadas. Assim, caso seja necessário, tais níveis podem ser ainda subdivididos em outros níveis, a depender das características da obra (ISATTO *et al.*, 2000; BERNARDES, 2001), ou das características específicas do sistema de PCP adotado.

### **2.2.3 Divisão do Trabalho conforme Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e Pacotes de Trabalho**

Um dos aspectos de alta relevância no gerenciamento de obras, que impacta diretamente na organização do planejamento e também no controle das atividades, é a maneira como o trabalho será dividido e alocado para produção.

A Estrutura Analítica de Projeto (EAP) pode ser definida como a divisão do projeto (de todo o escopo de trabalho relativo à construção) em tipos de unidades de trabalho específicas (partes identificáveis), possíveis de serem medidas e gerenciadas, e que estarão diretamente relacionadas à maneira como o projeto será executado em campo (OBERLENDER, 2000; HALPIN; SENIOR, 2012).

A divisão do trabalho conforme EAP proporciona uma melhor definição dos serviços a serem realizados, identificação dos pré-requisitos necessários para cada serviço, auxílio na seleção das equipes responsáveis por tais serviços e, principalmente, estabelece uma base para o intercâmbio de informações entre orçamento, planejamento e controle da obra (OBERLENDER, 2000). Segundo Oberlender (2000), a EAP fornece uma abordagem sistemática para identificação do trabalho, compilação do orçamento e desenvolvimento de cronogramas integrados, além de fornecer uma base padrão para medição e avaliação do desempenho.

A EAP divide o escopo de trabalho em um sistema hierárquico de múltiplos níveis, e quanto mais detalhada, os componentes de cada nível acabam sendo subconjuntos de um nível mais alto. Tal divisão e detalhamento da EAP dependente de fatores como o tipo da obra, a natureza do trabalho, as equipes envolvidas e, principalmente, o grau de controle que a gerência pretende empregar à produção (DEL PICO, 2013). Outra característica da EAP, é que a mesma pode ser definida por um sistema de códigos, que pode estar associado a uma estrutura organizacional padrão adotada pela empresa (DEL PICO, 2013).

Em nível mais operacional, a partir da EAP definida, podem ser então definidos os pacotes de trabalho, associados às unidades de designação das tarefas e controle direto da produção. Para a definição de um pacote de trabalho, quatro principais elementos precisam ser explicitados: (1) a ação a ser executada (natureza da tarefa, como elevação, escavação, montagem, etc.); (2) o elemento a ser construído (componente físico do produto, como parede, laje, piso, etc.); (3) o local onde o trabalho será executado (a zona da obra na qual a ação será realizada, como

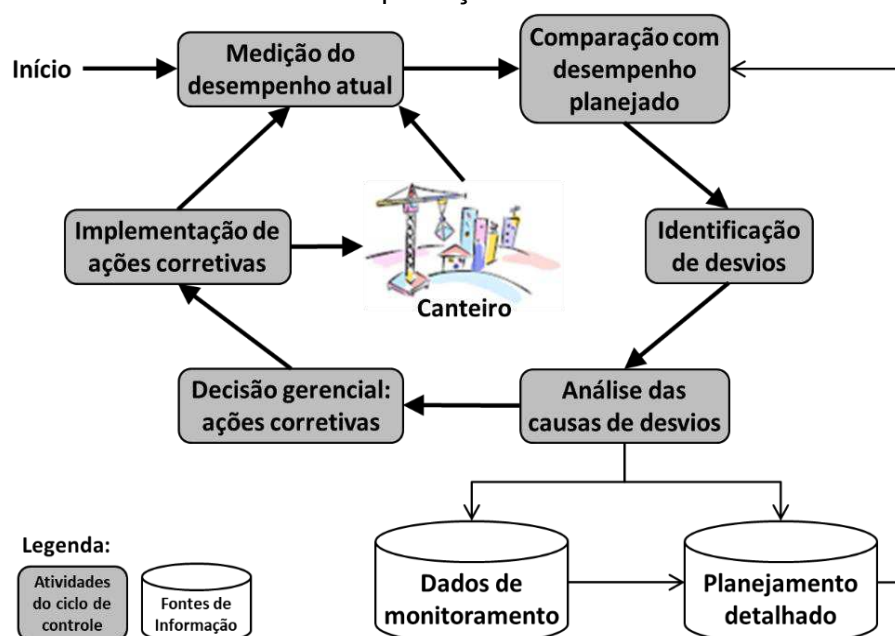
pavimento, unidade habitacional, ala específica, etc.); e (4) a equipe responsável pela execução do pacote de trabalho (FORMOSO *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2005).

Segundo Formoso *et al.* (2001), a elaboração dos planos conforme a definição de pacotes de trabalho (especialmente o plano de curto prazo), torna-se mais eficiente para o gerenciamento dos serviços no canteiro, do que estratégias de definições de metas baseadas em percentuais de serviços executados. A especificação dos serviços de campo em pacotes de trabalho facilita também o controle da produção e estimula a terminalidade dos serviços por parte das equipes (FORMOSO *et al.*, 2001).

### 2.3 CONTROLE DA PRODUÇÃO

Segundo Del Pico (2013), a essência da gestão de obras são as atividades de controle da produção. Navon (2005) e Del Pico (2013) definem o processo de controle da produção como o monitoramento e avaliação do desempenho real da construção, tendo como base os parâmetros definidos no seu planejamento (comparação entre o desempenho real e o planejado). A partir do monitoramento e avaliação são então identificados possíveis desvios, bem como são analisadas as razões de tais desvios e aplicadas ações corretivas, visando adequar o desempenho medido ao esperado (NAVON, 2007; DEL PICO, 2013). Navon (2007) ainda complementa destacando que o controle da produção representa, portanto, um ciclo contínuo formado pelas atividades que o definem, organizadas conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Ciclo contínuo de controle da produção



Fonte: Adaptado de Navon (2007)

Olawale e Sun (2013) destacam que o principal papel do controle da produção é orientar a realização de ações corretivas às causas estruturais dos problemas, de maneira dinâmica e ao longo de todo o processo construtivo. Em vista disso, Bernardes (2003) reforça que é necessário a realização do controle de forma contínua, com um rápido ciclo de retroalimentação de informações, e apresentação dessas informações em formato adequando às necessidades para a tomada de decisão.

Para Isatto *et al.* (2000), o controle deve ser aplicado visando alcançar dois importantes aspectos: (1) a eficácia, que está relacionada ao atendimento das metas estabelecidas (prazos e sequências de execução); e (2) a eficiência, associada ao uso racional dos recursos, sendo avaliada pela relação entre o valor do produto gerado e o custo dos recursos (não necessariamente financeiro). Assim, o controle da produção do ponto de vista da eficácia visa o aumento da previsibilidade dos eventos e diminuição de incertezas, pela correção e prevenção de desvios entre planejamento e execução, enquanto o controle do ponto de vista da eficiência representa a busca por melhorias na maneira como os recursos são utilizados (ISATTO *et al.*, 2000).

Laufer e Tucker (1987) e Navon (2005) comentam que o controle, quando aplicado efetivamente, permite que o fluxo da produção se mantenha conforme o planejado (fluxo contínuo), e, por consequência, que os objetivos desejados sejam atingidos. Kopsida, Brilakis e Vela (2015) acrescentam que o controle regular possibilita que gestores identifiquem deficiências na produção ainda em estágios iniciais, evitem potenciais atrasos, imprevistos, custos adicionais e retrabalhos, e implementem ações corretivas em tempo hábil.

No entanto, Oberlender (2000), Olawale e Sun (2013) e Salehi e Yitmen (2018) comentam que o controle efetivo e contínuo de todos os aspectos quantitativos e qualitativos necessários (relativos aos prazos, custos, qualidade, recursos e riscos), acaba sendo uma tarefa complexa e que demanda tempo e esforço, uma vez que a obra é um ambiente dinâmico, que se encontra em contínua mudança. Como resultados de um controle da produção insuficiente e de baixa qualidade, Kopsida, Brilakis e Vela (2015) citam a ocorrência de atrasos, aumento dos custos, diminuição da lucratividade, perdas e baixos índices de produtividade.

Para que o processo de controle da produção seja efetivo é necessário que suas atividades possuam um escopo bem definido, claro, que seja simples de administrar e fácil de ser compreendido por todos os envolvidos (NAVON; SACKS, 2007). Ao



mesmo tempo, é fundamental o controle de todos os aspectos necessários, incluindo prazos, custos, qualidade, recursos e os riscos (OBERLENDER, 2000).

### **2.3.1 Monitoramento do Progresso da Obra**

Entre os principais processos gerenciais relacionadas ao controle da produção, Del Pico (2013) destaca o monitoramento do progresso, o qual está principalmente relacionado ao monitoramento do avanço físico da obra, mas que pode incluir também o avanço financeiro. Por definição, “progresso” refere-se ao avanço em direção a um fim específico, e quando associado ao contexto da construção civil, a medição do progresso da obra pode ser entendida como a medição do trabalho concluído e do seu custo associado (JUNG; KANG, 2007; KIM; SON; KIM, 2013).

Por meio do monitoramento do progresso é possível identificar se a obra está cumprindo os prazos de acordo com o planejamento, se as atividades estão atrasadas ou adiantadas com base no cronograma de execução previsto (MARTÍNEZ-ROJAS; MARÍN; VILA, 2016; DEL PICO, 2013). Além disso, Garcia-Lopez e Fischer (2014) apontam que a medição do progresso das atividades é uma informação chave, que também está associada ao acompanhamento da evolução dos gastos da obra.

A partir do monitoramento contínuo do progresso, Teizer (2015) e Salehi e Yitmen (2018) ressaltam que o processo de tomada de decisão é beneficiado. Para os referidos autores, a obtenção de dados precisos em termos do status das tarefas de produção permite, por exemplo, uma melhor alocação dos recursos no canteiro e programação e coordenação dos próximos pacotes de trabalho, impactando na melhoria do desempenho da obra.

Dentre as atividades que fazem parte do ciclo de controle da produção, Del Pico (2013) destaca aquelas diretamente associadas ao monitoramento do progresso, as quais definem essencialmente a função deste processo gerencial:

- medição formal e regular do progresso das atividades, a partir de variáveis relacionadas principalmente ao volume produzido (percentual ou número de unidades concluídas para cada serviço) e período de execução;
- comparação do progresso real medido, com o progresso esperado a partir do planejamento e cronograma de execução da obra;
- identificação de conformidades e desvios entre o progresso planejado e o real.

Como características dos procedimentos tradicionalmente adotados para medição do progresso de obras, Jung e Kang (2007) comentam que o método, a estrutura, a precisão e os dados utilizados podem variar a depender das características do empreendimento, da metodologia de trabalho da empresa, e da cultura e costumes locais. No entanto, independente destas variações, o monitoramento do progresso deve ser realizado de maneira sistemática, contínua e integradas às demais atividades do Planejamento e Controle da Produção (SALEHI; YITMEN, 2018). Além disso, as informações sobre o progresso devem ser comunicadas de maneira fácil, rápida, e de forma que traduzam efetivamente o atual estado da obra (JUNG; KANG, 2007).

Nesse contexto, Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2009; 2015), Turkan *et al.* (2012) e Salehi e Yitmen (2018) apontam as seguintes práticas, como aquelas ligadas à atividade de medição do progresso mais habitualmente aplicadas em obras:

- inspeções visuais do canteiro;
- coleta manual de dados a respeito do volume produzido e datas de execução;
- desenvolvimento de relatórios diários e/ou semanais pelo pessoal de campo com identificação das unidades produzidas;
- análise e interpretação dos dados apresentados nos relatórios diários, sendo calculados percentuais de avanços por atividade e geradas representações finais dos dados de progresso, incluindo o uso de ferramentas como curvas de avanços físicos e financeiros, cronograma de datas reais da produção, diagramas de barras (gráfico Gantt), relatórios textuais e fotográficos.

Como desvantagens dessas práticas, autores ressaltam o elevado esforço e tempo gastos, incertezas e inconsistências (baixa precisão) na coleta e documentação dos dados de campo, bem como a complexidade, subjetividade e potenciais falhas relacionadas à interpretação e comunicação efetiva dos dados de progresso (TURKAN *et al.*, 2012; KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015; SALEHI; YITMEN, 2018).

De maneira complementar às atividades de medição do progresso, comparação com o planejamento e identificação de desvios, Martínez-Rojas, Marín e Vila (2016) reforçam que para o controle efetivo do progresso da obra, é necessário ainda analisar as causas dos desvios negativos identificados e aplicar ações corretivas em tempo

hábil. Tais ações corretivas visam o realinhamento do progresso real ao planejado, sem que haja impactos significativos em termos de prazos e custos (DEL PICO, 2013).

Entre as principais ações corretivas a desvios de progresso comentadas na literatura, Kim, Son e Kim (2013) identificam ações relacionadas à reorganização de recursos, e ao replanejamento de atividades e alterações no cronograma. Alguns exemplos de ações corretivas relacionadas a estes dois aspectos incluem:

- 1) Reorganização de recursos (mão de obra e materiais): realocação e ajuste de equipes, estudos de produtividade, treinamentos, estratégias para aumento da produtividade (como bonificações), estudos e ajustes de fluxos físicos, mudanças na gestão de suprimentos, ajustes com fornecedores, mudanças na logística de pedidos, de recebimentos e de estoque de materiais (KIM; SON; KIM, 2013; KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015; TEIZER, 2015).
- 2) Replanejamento de atividades e atualizações no cronograma: inicialmente buscando ajustes menores que não impactarão na duração final da construção, ou duração de etapas/entregas importantes; e em casos mais extremos, nos quais desvios de prazos significativos são inevitáveis, buscar minimizar os impactos negativos resultantes, como custos excedentes (KIM, SON, KIM, 2013; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015a).

### **2.3.2 Ferramentas para Controle e Apoio ao Monitoramento do Progresso**

Isatto *et al.* (2000) comenta que existem diferentes tipos de ferramentas gerenciais utilizadas no apoio ao controle da produção. Assim, para a escolha de quais utilizar é necessário conhecer o objetivo e aplicabilidade de cada uma delas, além de avaliar como elas se complementam, para que seja possível explorar ao máximo suas potencialidades na busca por um controle efetivo (ISATTO *et al.*, 2000).

Como exemplo de ferramentas, podem ser citados indicadores de desempenho, listas de verificação (checklists) para serviços, listas e planilhas para controle de insumos, mão de obra, etc., relatórios de produção, cartões de controle da produção, registros visuais (fotografias, vídeo), e uso de algumas ferramentas de gestão visual.

Esta seção abordará apenas dois tipos específicos de ferramentas, as quais estão diretamente relacionadas ao escopo do presente trabalho: os indicadores de desempenho e as ferramentas de gestão visual, com foco no uso de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais.

### 2.3.2.1 Indicadores de Desempenho da Produção

Os indicadores de desempenho são os produtos do processo de medição de desempenho da produção. Tal processo tem por objetivo identificar as capacidades reais da produção e os níveis de desempenho esperados, tanto em relação ao processo produtivo em si quanto ao sistema gerencial adotado, de forma a apoiar a tomada de decisão gerencial (WAGONER; NEELY; KENNERLEY, 1999; OLIVEIRA, 1999). A medição de desempenho auxilia o controle dos objetivos e metas estratégicas da obra, pela identificação de pontos fracos que necessitam de atenção, de potenciais de melhoria, das necessidades de alocação de recursos e necessidades de retroalimentação de informações (OLIVEIRA, 1999; COSTA, 2003).

De maneira mais específica, Wagoner, Neely e Kennerley (1999) e Costa (2003) classificam e dividem o processo de medição de desempenho em cinco etapas: (1) escolha do que será medido; (2) planejamento e coleta de dados; (3) processamento dos dados (cálculo dos indicadores e representação dos resultados); (4) avaliação dos índices medidos (análise dos indicadores em relação a valores de referência e/ou limites preestabelecidos); e (5) atualização das informações do sistema de medição de desempenho.

Segundo Bernardes (2003), o estudo de indicadores de desempenho possibilita a identificação de atributos da produção que normalmente não são explicitados, facilitando a análise de potenciais problemas (desvios dos indicadores aos padrões esperados) e auxiliando na aplicação de ações corretivas. Nesse sentido, Navon e Sacks (2007) destacam que o uso de indicadores melhora o processo de identificação e gestão de variabilidades e incertezas inerentes às atividades de construção.

Para a escolha dos indicadores a serem utilizados, Oliveira (1999) e Costa (2003) ressaltam que os seguintes critérios devem ser considerados:

- alinhamento das informações trazidas pelo indicador com os objetivos estratégicos da empresa e empreendimento;
- relevância e qualidade das informações comunicadas pelo indicador;
- contribuição do indicador para a melhoria contínua do processo de produção;
- simplicidade na medição e compreensão do indicador;
- baixo custo envolvido na coleta, processamento e avaliação do indicador;

- potencial de integração do indicador aos procedimentos gerenciais adotados, viabilizando a sistematização da coleta de dados, medição e avaliação do mesmo;
- transparência na forma de comunicação dos dados do indicador.

### Indicadores Associados ao Monitoramento do Progresso de Obras

A literatura aponta inúmeros indicadores de desempenho associados ao processo de construção. No entanto, nesta seção serão apresentados exemplos de indicadores para controle da produção que, de alguma maneira, se relacionam ou apresentam informações complementares ao monitoramento do progresso de obras.

#### a) Percentual de Avanço da Obra - PA

Este indicador pode ser calculado a partir de duas abordagens diferentes. Uma considerando o avanço físico das atividades, tendo como referencial o tempo de execução em horas-homem (consideração de pesos do cronograma), e a outra considerando o valor orçado como referencial (consideração de pesos do orçamento) (DEL PICO, 2013). Del Pico (2013) destaca que esta segunda abordagem de cálculo está associada à metodologia de Análise de Valor Agregado (*Earned Value Analysis*), que considera os valores a serem gastos ao longo do tempo, conforme orçamento e planejamento da construção, como a base para a análise do progresso da obra.

No entanto, de maneira geral o indicador tem por objetivo apresentar o progresso total das atividades de construção, sendo representado pela relação entre a quantidade total das atividades executadas e o total de atividades planejadas (AKKARI, 2003), levando em conta os referenciais/pesos específicos de cada abordagem. Tal indicador comumente possui periodicidade de cálculo vinculado ao planejamento e controle de médio prazo (intervalos tipicamente mensais), porém também pode ser calculado nos ciclos de curto prazo (geralmente semanais) (AKKARI, 2003). A Equação 1 e Equação 2 apresentam respectivamente a primeira e segunda abordagem de cálculo.

Equação 1 – Percentual de Avanço (avanço físico – tempo de execução como referencial)

$$PA = \frac{\sum(\text{Total de unidades executadas} \times \text{hh gasto para executar cada unidade})}{\text{Prazo total do empreendimento em hh}} \times 100 \quad (1)$$

Equação 2 – Percentual de Avanço (valor agregado – valor orçado como referencial)

$$PA = \frac{\sum(\text{Total de unidades executadas} \times \text{Custo de cada unidade})}{\text{Custo total do empreendimento}} \times 100 \quad (2)$$

#### b) Percentual de Atividades Completadas na Duração Prevista - PADP

Este indicador tem por objetivo informar o percentual de atividades que cumpriram as metas estipuladas para a duração prevista, em relação ao número total de atividades planejadas para o período. Sua periodicidade de medição está associada ao planejamento de médio prazo (intervalos tipicamente mensais). Dessa forma, o PADP permite avaliar a eficácia do planejamento de médio prazo, por meio da identificação do grau de acerto na previsão da duração das atividades programadas (OLIVEIRA, 1999).

O PADP é calculado pelo número de tarefas completadas na duração prevista, dividido pelo número total de tarefas planejadas no plano de médio prazo (OLIVEIRA, 1999), como apresentado na Equação 3.

Equação 3 – Percentual de Atividades Completadas na Duração Prevista - PADP

$$PADP = \frac{N^{\circ} \text{ de atividades completadas na duração prevista}}{N^{\circ} \text{ total de atividades planejadas para o período}} \times 100 \quad (3)$$

#### c) Percentual de Atividades Iniciadas no Prazo - PAIP

Este indicador tem por objetivo informar o percentual de atividades que tiveram início no prazo planejado, em relação ao número total de atividades planejadas para o período. O PAIP permite monitorar a consistência hierárquica dos planos de médio e curto prazo e a eficácia do planejamento de médio prazo, por meio da verificação da correspondência entre o início das atividades planejadas no médio prazo e as tarefas programadas no curto prazo (OLIVEIRA, 1999). Sua periodicidade de medição está associada ao planejamento e controle de médio prazo (tipicamente mensal).

O PAIP é calculado pelo número de tarefas programadas no médio prazo que foram incluídas no planejamento de curto prazo dentro do período previsto (iniciadas na data prevista), dividido pelo número total de tarefas planejadas no plano de médio prazo (OLIVEIRA, 1999), como apresentado na Equação 4.

Equação 4 – Percentual de Atividades Iniciadas no Prazo - PAIP

$$PAIP = \frac{N^{\circ} \text{ de atividades iniciadas na data prevista}}{N^{\circ} \text{ total de atividades planejadas no médio prazo para o período}} \times 100 \quad (4)$$

#### d) Desvio de Prazo da Obra – DP

Este indicador tem por objetivo permitir a análise do desempenho da obra finalizada, por meio da relação entre o prazo previsto e o prazo efetivo. O DP aponta

o atraso ou adiantamento da obra em relação ao planejamento (COSTA *et al.*, 2005). O mesmo só é medido ao final da obra ou ao final de uma atividade específica, quando a finalidade é o cálculo do desvio de prazo por atividade.

O DP é calculado pela diferença entre o prazo real de execução da obra e o prazo previsto de execução considerado no planejamento de longo prazo, dividida por esse prazo previsto (COSTA *et al.*, 2005), conforme Equação 5. Todos os prazos considerados para cálculo do DP são expressos em termos de quantidade de dias.

Equação 5 – Desvio de Prazo da obra - DP

$$DP = \frac{\text{Prazo real de execução} - \text{Prazo previsto de execução}}{\text{Prazo previsto de execução}} \times 100 \quad (5)$$

e) Projeção de Prazo da Obra - PP

Este indicador também é conhecido por Projeção de Atraso (PAT), e tem por objetivo realizar uma projeção do prazo da obra baseado nos atrasos e ritmos atuais de execução das atividades. O mesmo está relacionado à análise da confiabilidade do término da obra (OLIVEIRA, 1999). Oliveira (1999) e Akkari (2003) comentam que a relevância deste indicador está associada à importância da mensuração do tempo, visando o cumprimento do prazo final de entrega do empreendimento.

O PP é calculado pela média ponderada das atividades que estão em execução, sendo considerado o número de dias atrasados de cada atividade (Dias atrasados), número de dias antecipados de cada atividade (Dias adiantados), e as durações totais das atividades (Duração total) (OLIVEIRA, 1999), como apresentado na Equação 6. A periodicidade de atualização deste indicador pode ser feita de acordo com o planejamento de médio prazo, possuindo ciclos tipicamente mensais.

Equação 6 – Projeção de Prazo da obra - PP

$$PP = \frac{\sum \text{Dias atrasados} \times \text{Duração total} - \sum \text{Dias adiantados} \times \text{Duração total}}{\sum \text{Duração total das atividades}} \times 100 \quad (6)$$

f) Percentual de Planos Concluídos - PPC

Este é um dos principais indicadores do Sistema *Last Planner*. O mesmo está associado à avaliação da eficácia do planejamento e controle de curto prazo, indicando a qualidade dos planos de curto prazo, além da identificação de problemas na execução de tarefas e orientação na implementação de ações corretivas

(BALLARD, 2000; BERNARDES, 2003). Este indicador possui periodicidade de medição associada ao planejamento de curto prazo, com ciclos tipicamente semanais.

O PPC é calculado pela divisão do número de pacotes de trabalho previstos que foram totalmente concluídos (100% executado), pelo número total de pacotes de trabalho planejados para o período (BALLARD, 2000), conforme Equação 7.

Equação 7 – Percentual de Planos Concluídos - PPC

$$PPC = \frac{N^{\circ} \text{ de Pacotes de trabalho } 100\% \text{ concluídos}}{N^{\circ} \text{ total de Pacotes de trabalho planejados}} \times 100 \quad (7)$$

Um PPC elevado corresponde à um planejamento de qualidade, maior produtividade e melhor cumprimento do progresso planejado (BALLARD, 2000). Através do PPC é possível também identificar não conformidades, as quais devem ser analisadas em busca das causas raízes e aplicadas ações corretivas a estas causas, visando a melhoria contínua do desempenho da obra (BALLARD, 2000).

#### 2.3.2.2 Ferramentas de Gestão Visual

A gestão visual é uma estratégia de gerenciamento de informações associadas ao processo de produção. Tal estratégia enfatiza o uso de sistemas de informação visual (ferramentas visuais), visando o aumento da capacidade de comunicação de elementos da produção e aumento da transparência para melhoria do desempenho da obra (TEZEL *et al.*, 2015; TEZEL; AZIZ, 2017).

As ferramentas de gestão visual são utilizadas no apoio à comunicação, execução e coordenação das metas de produção no local de trabalho, de forma a atender às necessidades de informações operacionais e gerenciais (GALSWORTH, 2005). Segundo Tezel *et al.* (2015), as ferramentas de gestão visual têm por característica o fornecimento de informações de maneira transparente, ou seja, todos têm acesso à mesma informação, que pode ser obtida de maneira simples e de fácil entendimento. Transparência, simplicidade e atratividade na comunicação sensorial são os conceitos fundamentais que suportam a gestão visual (Tezel *et al.*, 2015).

Como benefícios, o uso de ferramentas de gestão visual permite, além de aumento da transparência, uma maior consistência nos resultados da produção, simplificação e maior coerência na tomada de decisões e controle da produção, maior coordenação do trabalho, melhor identificação de soluções para problemas,



estimulação do contato, maior colaboração entre os envolvidos, e maior engajamento e autonomia dos funcionários (TEZEL; AZIZ, 2017).

Segundo Galsworth (1997), os tipos de ferramentas de gestão visual podem ser classificados da seguinte maneira:

- Indicadores visuais: apenas exibem as informações, porém o acesso às mesmas depende da iniciativa das pessoas;
- Sinais visuais: chama a atenção por meio de sinais (sonoros, luminosos, etc.) e espera que as pessoas atentem à mensagem informada;
- Controles visuais: dispositivos que limitam, regulam e orientam a resposta humana em termos de tamanho, direção, quantidade, tempo, etc.;
- Garantias visuais: avisa explicitamente as pessoas e controla ou bloqueia totalmente certas ações (casos críticos).

### Uso de Tecnologias Digitais para Gestão Visual

Tezel e Aziz (2017) comentam que muitos dos desafios da gestão de obras estão associados à deficiência no acesso às informações necessárias para a tomada de decisão, resultando em comunicações falhas e falta de coordenação. Pensando na melhoria de tais desafios, o uso de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais (cujo conceito é melhor explorado no capítulo seguinte), como interfaces de visualização e acesso inteligente à informação, têm apresentado potencial para transformar e facilitar a gestão da produção. Tais tecnologias digitais tornam o processo de gestão visual mais dinâmico e integrado, com maior mobilidade, feedbacks mais rápidos e com melhores suportes de informação, e melhores fluxos de informação entre as partes interessadas (TEZEL; AZIZ, 2017).

Nesse contexto, Tezel e Aziz (2017) abordam as tecnologias digitais apresentadas no Quadro 1 como exemplos de ferramentas para gestão visual, destacando suas características e potencial para o desenvolvimento de um ambiente gerencial mais visual, transparente e colaborativo.

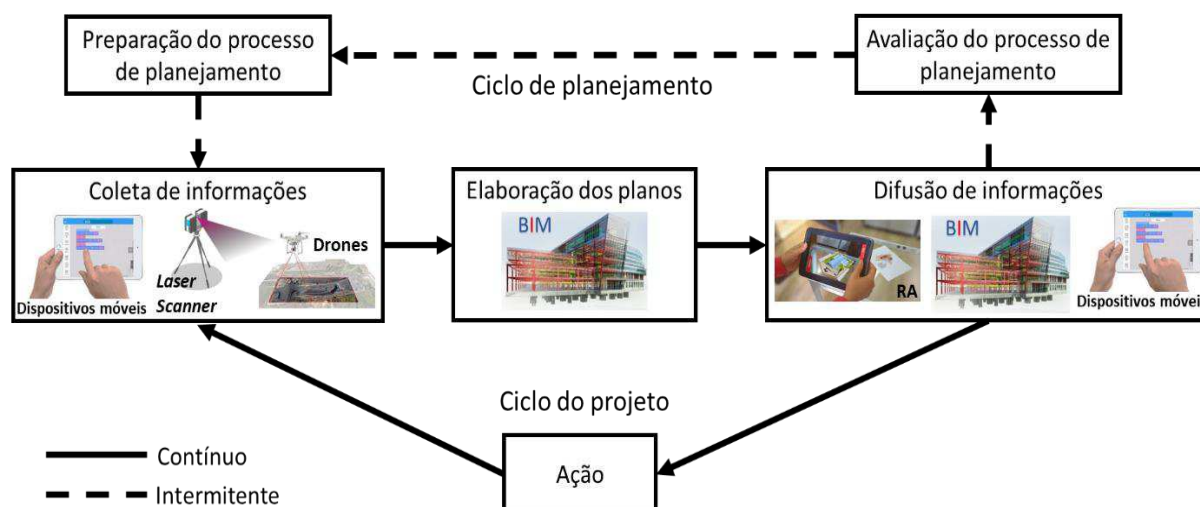
Quadro 1 – Exemplo de tecnologias digitais como ferramentas de gestão visual em canteiros

Tecnologias digitais	Características para a gestão visual em canteiros
<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As informações contidas em modelos BIM podem ser usadas no desenvolvimento de interfaces de gestão visual padronizadas e para apoiar a tomada de decisão;</li> <li>• Os modelos BIM podem ser usados no apoio à visualização dos fluxos de informações relacionados aos materiais, equipamentos, mão de obra, projeto, atividades de produção e condições ambientais;</li> <li>• Possibilita a simulação visual da obra, podendo ser utilizado no Planejamento e Controle da Produção.</li> </ul>
Realidade Aumentada (RA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a exibição de informações aumentadas, como a sobreposição de modelos 3D virtuais sobre elementos reais do canteiro com uso de uma câmera;</li> <li>• Potencial de desenvolvimento de uma interface de controle visual em tempo real e criação de protótipos virtuais para processos operacionais nas fases de construção e manutenção de edifícios;</li> <li>• Possibilita o fornecimento de informações visuais de projeto e simulações virtuais de execução das tarefas para orientação dos processos construtivos e suporte nos fluxos de trabalho;</li> <li>• Os ambientes RA permitem que vários usuários interajam ao mesmo tempo, estimulando a colaboração.</li> </ul>
Dispositivos de computação móvel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecem um acesso fácil e móvel às informações de construção;</li> <li>• Usando dispositivos móveis é possível obter acesso visual e em tempo real aos projetos, documentos de construção e modelos virtuais da construção (modelos BIM, por exemplo);</li> <li>• Também possibilita suporte à gestão visual na coleta de dados em canteiro.</li> </ul>
Veículos Aéreos Não Tripulados (drones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilita a visualização e automatização de tarefas associadas ao monitoramento do progresso, rastreamento de ativos e materiais em canteiro, garantia/ controle de qualidade e criação de modelos <i>as-built</i>;</li> <li>• Drones com câmeras acopladas, associados a técnicas de fotogrametria digital permitem a geração de modelos 3D para monitoramento visual de canteiros.</li> </ul>
<i>Laser scanners</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferecem diversas oportunidades relacionadas ao gerenciamento de ativos e monitoramento visual de canteiros em tempo real;</li> <li>• São eficientes na localização e mapeamento de recursos topográficos, definindo geometrias e criando superfícies 3D de terrenos.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Tezel e Aziz (2017)

Pensando numa gestão visual integrada ao processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP), as tecnologias digitais apresentadas no Quadro 1 possuem potencial de utilização ligado a diferentes atividades do ciclo contínuo de PCP. Baseando-se nas características destacadas no Quadro 1 (apresentadas por Tezel e Aziz (2017)), foi possível posicionar cada uma das tecnologias apresentadas, de acordo com seus potenciais usos, dentro do ciclo de PCP definido por Laufer e Tucker (1987) (Figura 1 – página 13), conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Integração de tecnologias digitais para gestão visual ao ciclo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) definido por Laufer e Tucker (1987)



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Laufer e Tucker (1987)

Como apresentado na Figura 3, as tecnologias de *Laser Scanner* e Veículo Aéreo Não Tripulado (também conhecido como drone) podem ser utilizadas para coleta de informações visuais do canteiro, como, por exemplo, para registro visual do progresso real da obra (TEZEL; AZIZ, 2017). Tais informações visuais podem ser utilizadas no apoio ao controle da produção e na atualização dos planos.

Outra tecnologia também usada para coleta de informações são os dispositivos móveis. Estes podem auxiliar a coleta de dados da produção, incluindo preenchimento de checklists virtuais, anotações digitais de dados de produtividade, de verificação da qualidade, etc.; e também na obtenção de informações de projeto, documentos, dados de planejamento, entre outros (TEZEL; AZIZ, 2017). Os dispositivos móveis podem ser ainda utilizados na difusão de informações a respeito do planejamento e controle, como visualização de relatórios e planilhas digitais (TEZEL; AZIZ, 2017).

Em relação às tecnologias usadas para apoio na elaboração dos planos, o BIM se destaca entre aquelas apresentadas no Quadro 1. O BIM 4D, que integra o modelo virtual da construção a dados do planejamento, permite uma melhor visualização do plano que está sendo desenvolvido, por meio da simulação 4D, possibilitando a detecção antecipada de interferências no sequenciamento de atividades e verificação visual da autenticidade do cronograma (EASTMAN *et al.*, 2008).

Para a difusão de informações, o modelo BIM também funciona como uma boa ferramenta de gestão visual. Com uso do BIM é possível informar visualmente o planejamento desenvolvido, pela simulação 4D do plano elaborado, além de

informações 3D de detalhes de projeto, ou simulação de processos executivos para apoio na produção (TEZEL; AZIZ, 2017). Tais informações visuais de projeto e simulações virtuais de execução, podem ser ainda difundidas com uso de dispositivos de Realidade Aumentada (RA), que tornam ainda mais realística e interativa a visualização destes dados (TEZEL; AZIZ, 2017).

## 2.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO 2

A partir dos conceitos apresentados neste capítulo é possível entender o sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) como a principal base para a gestão de obras, sendo o planejamento e o controle processos complementares, contínuos, repetitivos e que necessitam de sistematização e organização de suas etapas.

Tendo o controle da produção como o foco principal do capítulo, foi possível identificar dentro do seu escopo o processo de monitoramento do progresso de obras, como elemento essencial para um gerenciamento eficaz e eficiente. Por meio do monitoramento do progresso é possível identificar e comunicar o status da construção, pela medição e avaliação do trabalho concluído. No entanto, para que os resultados do monitoramento do progresso contribuam positivamente para a tomada de decisão, este deve ser realizado de maneira sistemática e detalhada, e as informações sobre o progresso devem ser comunicadas de maneira fácil, rápida, e de forma que traduzam efetivamente o atual estado da obra.

Na busca por um controle da produção e monitoramento do progresso que atendam às necessidades gerenciais da obra, ferramentas para suporte a tais processos são apresentadas, incluindo indicadores de desempenho da produção e ferramentas para melhoria da gestão visual em canteiros.

Os indicadores de desempenho são instrumentos que permitem identificar as capacidades reais da produção e os níveis de desempenho esperados. Entre os diferentes indicadores identificados na literatura, alguns se destacam por fornecerem informações complementares ao monitoramento do progresso de obras, como o Percentual de Avanço da obra (PA), Percentual de Atividades Completadas na Duração Prevista (PADP), Desvio de Prazo da obra (DP) e Projeção de Prazo da obra (PP). Todos estes, de alguma maneira, se relacionam ao monitoramento dos volumes produzidos e dos prazos de execução.

As ferramentas de gestão visual, por sua vez, apoiam a comunicação, execução e coordenação das metas de produção no local de trabalho, fornecendo informações transparentes e simples, de fácil acesso e de fácil entendimento. O uso de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais como ferramentas para a gestão visual em canteiro, destaca-se pelo potencial em transformar e otimizar a gestão da produção, tornando este processo mais dinâmico e integrado, com maior mobilidade, melhores suportes e fluxos de informação.

Nesse contexto, o capítulo seguinte (**Capítulo 3**) abordará especificamente os conceitos relacionados às tecnologias de dados visuais e explorará três das principais tecnologias digitais utilizadas para o monitoramento visual do progresso de obras.

### 3 TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA O MONITORAMENTO VISUAL DO PROGRESSO DE OBRAS

Este capítulo possui como foco apresentar três tecnologias digitais utilizadas em aplicações relacionadas ao monitoramento visual do progresso de obras, que se destacam em termos de potencial para representação visual do projeto e planejamento da construção, representação visual do atual estado da obra e registro visual do canteiro. As tecnologias que compõem o escopo do presente trabalho são: (1) *Building Information Modeling* (BIM), com foco no BIM 4D, (2) mapeamento 3D, com foco nos modelos de nuvem de pontos por fotogrametria digital, e (3) Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com câmeras acopladas.

Inicialmente é apresentada neste capítulo a definição de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais, e então apresentados os conceitos gerais relacionados a cada uma das três tecnologias mencionadas anteriormente, destacando o seu potencial de utilização para o monitoramento visual do progresso. Por fim, é apresentado ainda alguns dos principais estudos identificados na literatura que abordam o uso das tecnologias destacadas para a aplicação em questão.

#### 3.1 TECNOLOGIAS DE DADOS VISUAIS

As tecnologias de dados visuais podem ser entendidas como técnicas e ferramentas digitais associadas à geração e/ou compreensão de representações gráficas (dados visuais), incluindo imagens, fotografias, vídeos, diagramas, modelos digitais, animações, entre outras; tendo como principal função a comunicação de informações, mensagens ou ideias com apoio destas representações (MCCORMICK; DEFANTI; BROWN, 1987; HANSEN; JOHNSON, 2005).

O uso de dados visuais pode estar relacionado tanto ao processo de registro e/ou geração digital das representações gráficas, quanto à interpretação, comunicação e análise de informações associadas a estes dados (MCCORMICK; DEFANTI; BROWN, 1987). Ebert (2005) chama atenção quanto à importância das tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais para a comunicação de informações. A principal característica destas tecnologias é a transmissão de informações de maneira mais eficiente, precisa, compreensível e reproduzível, quando comparada com comunicações de dados textuais ou verbais (EBERT, 2005).

Em relação à classificação das tecnologias de dados visuais, McCormick, DeFanti e Brown (1987) classificam seus componentes da seguinte forma:

- Tipos de dados visuais: existem dois tipos principais de representações de dados visuais; as representações bidimensionais (gráficos, diagramas, fotografias, imagens 2D), ou as multidimensionais, das quais a tridimensional é a mais comum (modelos de superfície, volumes, modelos digitais 3D);
- Hardwares para captura e/ou geração digital de dados visuais: incluem câmeras fotográficas e filmadoras, outros sensores, computadores, tablets, smartphones, satélites, radares, scanners, entre outros;
- Softwares para processamento (geração e manipulação) e visualização de dados visuais: variam muito a depender do tipo de dado visual, tipo de aplicação, uso e hardware utilizado. Incluem, por exemplo, programas computacionais e aplicativos móveis.

Segundo Hansen e Johnson (2005), nas últimas décadas, devido ao grande desenvolvimento das tecnologias de aquisição de dados visuais e tecnologias computacionais, tem-se percebido uma melhoria da capacidade de representação e documentação visual do mundo físico (maior precisão e maior nível de detalhes). Assim como uma melhoria do processo de modelagem e simulação visual de fenômenos e elementos físicos complexos (HANSEN; JOHNSON, 2005).

Em função do desenvolvimento e aprimoramento de tais capacidades, o uso de tecnologias digitais de dados visuais tem se tornado cada vez mais comum e presente em diversas áreas de aplicação, incluindo uso de dados cada vez mais complexos e embarcados de informações, apresentados em duas (2D), três (3D) ou mais dimensões (nD) (HANSEN; JOHNSON, 2005).

Nesse contexto, o uso de tecnologias de dados visuais aplicadas ao monitoramento do progresso de obras tem se destacado, sobretudo, pela possibilidade de captura, processamento e representação de dados visuais realísticos da obra, e a sobreposição e comparação destes com representações também visuais do projeto e planejamento (LIN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

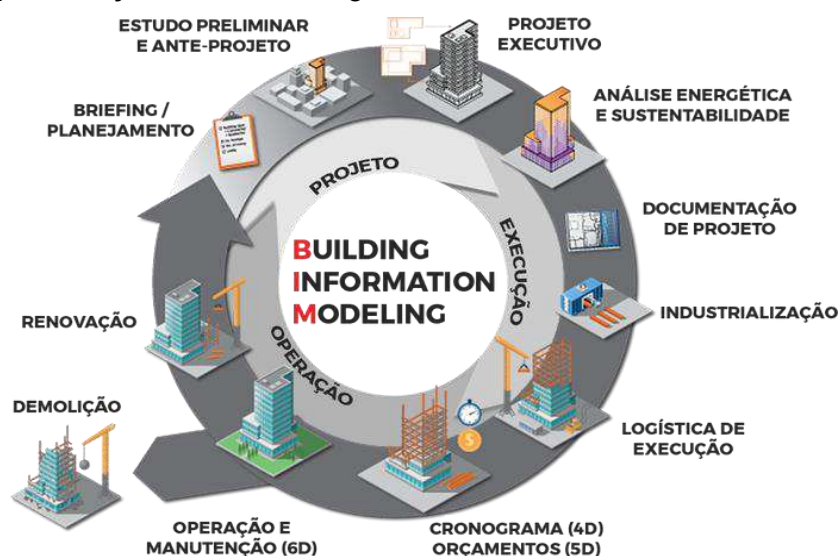
Por meio da revisão da literatura, foi possível identificar que as tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais utilizadas para o monitoramento visual do progresso, podem ser classificadas segundo três principais funções:

- 1) Representação visual do projeto e planejamento da construção: inclui tecnologias de *Computer-Aided Design* (CAD), *Geographic Information System* (GIS) e principalmente *Building Information Modeling* (BIM);
- 2) Representação visual do atual estado da obra: fotografias, imagens de satélite, vídeos, e mapeamentos 3D de canteiro (reconstruções 3D por varredura à laser ou processamento de imagens – fotogrametria);
- 3) Registro visual do canteiro: são identificadas câmeras digitais e diferentes dispositivos com câmeras integradas, como *smart phones*, tablets, veículos não tripulados terrestres e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), além de dispositivos/sensores para varredura a laser.

### 3.2 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Segundo Eastman (1999), *Building Information Modeling* (BIM) pode ser definido como o processo de gestão do fluxo de informações envolvidas nas diferentes fases do ciclo de vida da edificação (Figura 4), por meio da utilização de um modelo digital paramétrico (baseado em objetos virtuais), que representa as características físicas e funcionais do empreendimento. Succar (2009) complementa afirmando que o BIM integra políticas, processos e tecnologias que interagem, gerando uma metodologia para gestão dos dados do edifício em formato digital, ao longo do seu ciclo de vida.

Figura 4 – Representação do BIM ao longo de diferentes fases do ciclo de vida da edificação



Fonte: Disponível em <<https://www.emaze.com/@AQWRZFC/BIM>>, acesso em dez. 2017

Witcovski e Scheer (2011) comentam que o BIM não é apenas uma ferramenta para uso na concepção e elaboração do projeto do empreendimento, mas uma



metodologia de trabalho para troca de informações entre os envolvidos nos diferentes estágios do ciclo de vida da edificação, baseada numa interface digital. Com o uso do BIM, diferentes intervenientes podem trabalhar de forma colaborativa e interoperável a partir do mesmo projeto (modelo digital integrado), possibilitando uma melhor compreensão visual do empreendimento e, por consequência, tomadas de decisões antecipadas e mais precisas (CHEN *et al.*, 2013; SALEHI; YITMEN, 2018).

### 3.2.1 Modelo BIM

O modelo BIM representa o resultado/produto do processo de trabalho BIM, de forma a reunir as informações de determinado empreendimento em um modelo virtual único (EASTMAN *et al.*, 2008). Eastman *et al.* (2008) caracterizam o modelo BIM por:

- Componentes da edificação: o modelo BIM inclui, por exemplo, elementos de paredes, lajes, janelas, portas, escadas, etc., que são representados por objetos digitais associados a atributos gráficos, dados mensuráveis e regras paramétricas. A representação da geometria 3D dos elementos é associada a uma descrição semântica de atributos e propriedades (funções, materiais, uso e outros), e das relações entre os atributos e entre os diferentes componentes do modelo (SONG; YANG; KIM, 2012).
- Componentes associados a dados que descrevem seu comportamento: tais dados são incorporados conforme necessário para análises e processos de trabalho, incluindo análise de desempenho, custo, planejamento, entre outros.
- Informações consistentes e não redundantes: caso haja qualquer alteração no modelo BIM, as informações associadas serão representadas e atualizadas automaticamente em todas as visualizações de seus componentes.
- Informações coordenadas: todas as visualizações dos componentes de um modelo BIM são representadas de forma coordenada.

Outra definição importante na caracterização de modelos BIM é o seu nível de desenvolvimento, ou *Level of Development* (LOD). O nível de desenvolvimento (LOD) pode ser entendido como o nível de confiança das informações incorporadas aos elementos de um modelo BIM (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC, 2016; AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS - AIA, 2013). Assim, o LOD funciona como uma referência informada pelos desenvolvedores do modelo, em relação à confiabilidade das informações atribuídas, de forma a indicar

os limites de utilização e aplicação do mesmo (CBIC, 2016). Tal referência foi desenvolvida com o objetivo de melhorar a qualidade de comunicação entre os usuários do modelo BIM, ao longo de todo o ciclo de vida de utilização (AIA, 2013).

O Instituto Americano de Arquitetos (*American Institute of Architects - AIA*) define cinco diferentes LODs, conforme apresentados a seguir (AIA, 2013):

- 1) LOD 100: modelo com representação das massas totais das edificações;
- 2) LOD 200: modelo com sistemas genéricos contendo informações aproximadas de quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações;
- 3) LOD 300: modelo com elementos definidos contendo informações precisas de quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações, além de algumas outras informações não geométricas;
- 4) LOD 400: modelo com elementos definidos contendo informações precisas de quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações, além de informações precisas associadas ao processo de execução em canteiro;
- 5) LOD 500: modelo equivalente ao *as-built* (com nível final de desenvolvimento), que representa o empreendimento da maneira como foi realmente construído.

Quanto aos usos do modelo BIM, Malsane e Sheth (2015) e Salehi e Yitmen (2018) comentam que este funciona como um banco de dados digital no qual é possível visualizar, gerar, armazenar, analisar e gerenciar diferentes informações coordenadas, consistentes e computáveis (em formato paramétrico). Tais informações podem estar relacionadas à concepção, projeto, construção, operação, manutenção e reabilitação ou demolição da edificação. Por tanto, tais informações podem ser usadas para tomada de decisões de projeto, estimativa de custos e de prazos da obra, planejamento da produção, geração de documentos de construção e previsão do desempenho da operação de edifícios (MALSANE; SHETH, 2015).

Para a etapa de construção, o BIM possibilita uma melhor análise do projeto e gestão dos processos. Já que é possível agregar ao modelo geométrico 3D informações tempo (modelo BIM 4D) e custo (modelo BIM 5D), o BIM pode ser usado para apoio à gestão da segurança em canteiro, planejamento da logística, planejamento e controle das atividades, estimativas de custo, acompanhamento de gastos, e monitoramento do progresso de obras (CHECCUCCI; AMORIM, 2011; SALEHI; YITMEN, 2018).

### 3.2.2 BIM 4D

O BIM 4D é definido como a integração de componentes da edificação representados tridimensionalmente (modelo 3D) com a informação de tempo (quarta dimensão) (WANG *et al.*, 2014). Eastman *et al.* (2008) e Biotto, Formoso e Isatto (2015) comentam que no BIM 4D é possível incorporar as durações das atividades de construção (variável tempo) aos componentes do modelo geométrico 3D. Assim, o BIM 4D pode ser utilizado no planejamento e análise da produção, a partir da simulação visual da construção com base no planejamento e cronograma da obra.

Wang *et al.* (2014) caracterizam o processo de desenvolvimento do BIM 4D a partir das seguintes etapas:

- 1) Desenvolvimento do projeto BIM da edificação: geração do modelo BIM 3D e elaboração do cronograma da obra em software compatível com o BIM;
- 2) Geração do modelo BIM 4D: vinculação dos elementos 3D às atividades e durações do cronograma, com uso de software BIM para simulação 4D;
- 3) Execução da simulação 4D: simulação da sequência de construção no modelo BIM 4D, pela visualização dos componentes 3D apresentados de maneira consecutiva conforme cronograma, como uma progressão ao longo do tempo planejado para a obra.

A última das etapas apresentadas, a simulação 4D, é considerada como o principal atributo do BIM 4D. Wang *et al.* (2014) a definem como a visualização gráfica das atividades planejadas, ao longo de qualquer período entre o início e término da obra, tendo como base o cronograma de construção.

Chen *et al.* (2013) comentam que a simulação 4D possibilita uma comunicação eficaz e gestão visual do cronograma, podendo ser considerada com uma ferramenta de grande utilidade para apoio à tomada de decisão. A simulação 4D permite analisar possíveis conflitos espaciais e temporais do canteiro, ajudando a reduzir interferências, atrasos e problemas de sequenciamento, e melhorando a dinâmica da produção (CHEN *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2014; MALSANE; SHETH, 2015).

Eastman *et al.* (2008) e Dang e Tarar (2012) destacam como principais benefícios e aplicações do BIM 4D:

- Melhor visualização do processo de construção planejado: a simulação BIM 4D permite o entendimento mais claro da evolução da obra conforme

planejada, possibilitando a detecção antecipada de conflitos e interferências ainda na fase de planejamento;

- Desenvolvimento de planos mais precisos e detalhados: com o modelo BIM 4D, a sequência das atividades de produção e o impacto de umas nas outras pode ser visualmente simulado. Isso possibilita a verificação da autenticidade do cronograma e aprimoramento do planejamento, visando otimização de recursos e durações das fases de construção;
- Melhor comunicação: com o BIM 4D, os gestores podem comunicar visualmente o planejamento aos diferentes intervenientes. O modelo 4D abrange aspectos temporais e espaciais do cronograma, e os comunica com mais eficiência e rapidez do que outras ferramentas de planejamento;
- Maior colaboração no planejamento da produção: com base na visualização da simulação 4D é possível analisar conjuntamente o planejamento, visando garantir sua viabilidade para as diferentes equipes;
- Análises logísticas do canteiro: com o BIM 4D os gestores podem definir de maneira mais eficiente as áreas de depósito, acessos, posicionamento de equipamentos, localização de barracões, containers, etc.; além de melhor coordenação dos tempos de espera e dos fluxos de transporte no canteiro;
- Acompanhamento do progresso de obras: com o modelo BIM 4D, os gestores podem comparar visualmente a situação planejada e a atual do canteiro, sendo possível identificar rapidamente o status de progresso da obra.

### **3.2.3 BIM 4D para o Monitoramento do Progresso de Obras**

Entre as tecnologias digitais utilizadas para representação visual do projeto e planejamento da construção, o BIM 4D é a que mais se destaca em estudos recentes para o monitoramento visual do progresso. Apesar de ser possível o uso de outras tecnologias de simulação 4D para este propósito (como o CAD 4D, por exemplo), o BIM foi escolhido para compor o escopo de presente trabalho, por possuir como vantagens a integração mais inteligente e otimizada dos processos de concepção, projeto, planejamento e controle, uma vez que utiliza um modelo único, interoperável e que se mantém atualizado nas diferentes visualizações e para os diferentes usos (ALIZADEHSALEHIA; YITMEN, 2016).

De acordo com Braun *et al.* (2015) e Alizadehsalehia e Yitmen (2016), o BIM é uma rica fonte de informações para o monitoramento do progresso, pois o modelo 4D possibilita a representação visual da obra conforme planejada (*as-planned*), combinando informações relevantes do projeto e do cronograma de construção. Consequentemente, o estado planejado, de qualquer momento ao longo da obra, pode ser visualizado por meio do modelo 4D e então comparado com o estado real da construção. Assim, é possível detectar, visualizar e analisar desvios no progresso, pela identificação de componentes atrasados (existentes na simulação 4D, mas não executados na obra), ou componentes adiantados (já construídos, mas ainda não visualizados na simulação 4D) (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2009; BRAUN *et al.*, 2015; HAN; CLINE; GOLPARVAR-FARD, 2015).

Segundo Alizadehsalehia e Yitmen (2016) e Salehi e Yitmen (2018), a utilização do modelo BIM 4D durante a obra, em conjunto com representações visuais realísticas do construído (como imagens e reconstruções 3D do canteiro), torna a atividade de monitoramento do progresso mais eficaz e otimizada. Este uso possibilita uma visualização mais clara, em diferentes perspectivas, e uma comparação mais fidedigna entre o construído e o planejado. Além disso, com uso do BIM 4D, atualizações, análises e relatórios visuais podem ser elaborados com maior regularidade e precisão durante o processo de monitoramento do progresso da obra (ALIZADEHSALEHIA; YITMEN, 2016).

### 3.3 MAPEAMENTO 3D

O mapeamento 3D pode ser definido como a reconstrução digital tridimensional da geometria, posicionamentos e texturas de elementos que compõem o ambiente mapeado, ou seja, aquele que foi visualmente registrado por dispositivos de sensoriamento remoto (REMONDINO, 2011; ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018).

Existem diferentes métodos e dispositivos de sensoriamento remoto que permitem a aquisição de dados visuais para mapeamento 3D de superfícies (BHATLA *et al.*, 2012; ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018). Dentre estes, pode-se destacar os sensores imageadores, divididos entre sensores ativos que utilizam dados de alcance, os quais predomina a tecnologia de varredura a laser (*laser scanning*), e sensores passivos com captura de dados de imagem (como câmeras digitais), associados à tecnologia de fotogrametria digital (REMONDINO, 2011; BEMIS *et al.*, 2014).

O mapeamento 3D, tanto por escaneamento a laser quanto por fotogrametria digital, possui como principais características comuns: (1) a captura de dados sem contato físico direto com objeto a ser reconstruído digitalmente; (2) predomínio do processamento automatizado de dados para a reconstrução 3D; e (3) o modelo de nuvem de pontos como o produto principal da reconstrução 3D (REMONDINO, 2011; BEMIS *et al.*, 2014; DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2015). Porém, cada um destes métodos possui vantagens e desvantagens em relação à obtenção dos produtos, portabilidade, nível de complexidade de operação, custo e requisitos para o processamento computacional de dados (ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018).

### 3.3.1 Mapeamento 3D por Fotogrametria Digital

Para o mapeamento 3D a partir de imagem, a tecnologia de fotogrametria digital utiliza ferramentas computacionais baseadas em formulações matemáticas, visando transformar informações contidas nas imagens 2D em dados 3D, pela identificação da correspondência entre as imagens (REMONDINO, 2011; COELHO; BRITO, 2007). Remondino (2011) e Bemis *et al.* (2014) destacam que a fotogrametria digital pode ser considerada como a melhor tecnologia de processamento de imagens para a reconstrução 3D automática de cenas.

De acordo com Remondino (2011) e Bemis *et al.* (2014), a fotogrametria digital é capaz de fornecer informações 3D precisas e detalhadas, partindo do princípio de identificação de pontos correspondentes (feições homólogas) entre imagens diferentes. Principalmente no que diz respeito à técnica computacional de processamento fotogramétrico automático, também conhecida por *Structure from Motion* (SfM) ou *Dense Stereo Matching* (DSM).

Baseado na combinação de fundamentos básicos da fotogrametria digital e visão computacional, Bhatla *et al.* (2012) e Bemis *et al.* (2014) comentam que algoritmos e softwares que utilizam a técnica de SfM possuem como principais funcionalidades:

- 1) identificação automática da sobreposição entre as fotografias registradas;
- 2) combinação de pontos comuns entre as imagens, pela correlação automática de conjuntos de pixels homólogos em fotografias distintas;
- 3) extração automática de coordenadas 3D de pontos da superfície fotografada, gerando um modelo geométrico de nuvem de pontos.

O modelo de nuvens de pontos, segundo Groetelaars (2015), é definido como um conjunto de pontos espacialmente distribuídos, de forma a representar a superfície tridimensionalmente reconstruída, no qual cada ponto está associado a um conjunto de coordenadas cartesianas (x, y e z), além de outros atributos como cor e textura.

### 3.3.1.1 *Etapas do Processamento Fotogramétrico Automático*

Remondino (2011), Groetelaars e Amorim (2012) e Melo Júnior (2016) destacam que o mapeamento 3D pelo processamento fotogramétrico automático (técnica SfM ou DSM) é composto geralmente pelas seguintes etapas, podendo variar um pouco a depender do funcionamento da ferramenta computacional adotada:

- 1) Seleção e inserção das fotografias: é necessário inicialmente a seleção adequada do conjunto de fotografias a ser usado para a reconstrução 3D, e, então, upload destas fotografias na plataforma online, software ou sistema computacional utilizado (GROETELAARS; AMORIM, 2012).
- 2) Correlação automática dos pontos homólogos entre as imagens: após carregamento das fotografias, é iniciada a detecção automática da correlação dos pontos (conjuntos de pixels) comuns entre as diferentes imagens, com identificação das feições homólogas. Isto é possível devido à sobreposição entre imagens (mesma área da cena registrada em mais de uma fotografia) (GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016).
- 3) Orientação externa e interna da câmera: a orientação externa, realizada por meio de cálculos específicos, permite a determinação das posições e orientações espaciais da câmera no instante do registro de cada fotografia (GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016). Este processo é mais preciso e otimizado quando há o georreferenciamento das imagens, pois os posicionamentos estarão associados a um sistema de coordenadas global. Já a orientação interna, consiste na determinação dos parâmetros da câmera, como resolução, distância focal e distorções da lente. Tais parâmetros são geralmente extraídos automaticamente pelas ferramentas de processamento, a partir dos metadados dos arquivos digitais de imagem (informações de Exif), mas que também podem ser determinados a partir do processo de calibração da câmera (GROETELAARS; AMORIM, 2012; BEMIS et al., 2014). A

orientação interna é importante para a construção da relação geométrica entre os pontos das fotografias e os pontos do espaço tridimensional.

- 4) Reconstrução da nuvem de pontos esparsa: a combinação das três etapas anteriores resulta na geração de uma nuvem de pontos esparsa (de baixa densidade). Pela determinação dos posicionamentos e orientações relativas das imagens e associação dos conjuntos de pixels homólogos, é possível a obtenção das coordenadas tridimensionais dos pontos que compõem a área de interesse fotografada, sendo estes os pontos pertencentes à nuvem de pontos esparsa (GROETELAARS; AMORIM, 2012; MELO JÚNIOR, 2016).
- 5) Reconstrução da nuvem de pontos densa: após a obtenção da nuvem de pontos esparsa é realizada sua densificação sobre as imagens alinhadas. Nessa etapa são reconstruídos a maioria dos detalhes geométricos da cena, gerando uma nuvem de pontos densa com as texturas e informações radiométricas extraídas das fotografias (MELO JÚNIOR, 2016).
- 6) Geração de outros produtos fotogramétricos a partir da nuvem de pontos: com base na nuvem de pontos, podem ainda ser gerados produtos fotogramétricos adicionais, tais como, modelo geométrico (3D) texturizado por malha triangular irregular (malha TIN - *Triangulated Irregular Network*), ortofotos (ou ortomosaicos), e Modelos Digitais de Terreno e Superfície (MDT e MDS).

### 3.3.1.2 Requisitos e Vantagens da Tecnologia de Fotogrametria Digital

A fim de obter um mapeamento 3D sem inconsistências visuais e falhas na reconstrução da superfície de interesse, alguns requisitos devem ser considerados. Autores apontam que é necessário: (1) usar mais de duas imagens que capturam os mesmos pontos (mesmos elementos da cena); (2) garantir uma alta sobreposição entre as imagens; (3) usar um dispositivo visual adequado para registro de imagens com alta resolução e boa qualidade; e (4) registrar efetivamente o ambiente a ser reconstruído, de modo que as fotografias recubram toda a área de interesse (PIERROT-DESEILLIGNY; DE LUCA; REMONDINO, 2011; MCCOY; GOLPARVAFARD; RIGBY, 2014; BEMIS et al., 2014).

Outro pré-requisito importante para o mapeamento 3D são os critérios de dimensionamento e georreferenciamento da superfície reconstruída, que variam de acordo com o uso pretendido. Algumas ferramentas de processamento fotogramétrico



automático são capazes de reconstruir a superfície com base apenas em um conjunto de fotos, sem nenhum tipo de informação de escala ou referencial de posicionamento (BEMIS *et al.*, 2014). Porém, para Bemis *et al.* (2014), a precisão e qualidade do produto final e a extração de dados em escala (como por exemplo, medições), a partir de mapeamentos 3D sem dados georreferenciados, ficam comprometidas.

Em relação às principais vantagens da técnica de processamento fotogramétrico automático, quando comparada, por exemplo, ao método de escaneamento a laser, Pierrot-Deseilligny, De Luca e Remondino (2011), Bhatla *et al.* (2012) e Bemis *et al.* (2014) destacam a grande portabilidade (peso e tamanho), flexibilidade de uso, baixo consumo de energia, rápida operação, e baixos custos dos sensores para coleta de dados fotográficos. Tais sensores incluem câmeras digitais e dispositivos com câmeras integradas, como *smart phones*, tablets, veículos não tripulados terrestres e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Além disso, Groetelaars e Amorim (2012) e Melo Júnior (2016) complementam afirmando que as nuvens de pontos geradas pela fotogrametria digital já possuem o atributo das cores da superfície mapeada, sendo a textura dos elementos obtida com alta qualidade diretamente das fotografias.

### **3.3.2 Mapeamento 3D por Fotogrametria Digital para o Monitoramento do Progresso de Obras**

Em relação ao uso de mapeamentos 3D de obras, gerados por processamento de imagens, para o auxílio no monitoramento do progresso, Golparvar-Fard *et al.* (2011), Bhatla *et al.* (2012) e Braun *et al.* (2015) comentam que os modelos de nuvem de pontos de canteiros possibilitam uma avaliação mais clara e realística das condições da obra, pela reconstrução tridimensional do ambiente real. Segundo Golparvar-Fard *et al.* (2011), as nuvens de pontos possibilitam a extração de informações semânticas relativas ao construído, fornecendo meios robustos para o reconhecimento e documentação do progresso e da qualidade das construções.

Alizadehsalehia e Yitmen (2016) realizaram um estudo cujo objetivo era investigar o impacto de tecnologias de captura de dados em canteiro, utilizadas em combinação com modelos BIM para o monitoramento automatizado do progresso de obras. Para tal, foram realizadas entrevistas com engenheiros e gestores de 326 empresas ligadas à construção civil, que operam no Oriente Médio, Ásia Central, Europa, América do Norte e Extremo Oriente (ALIZADEHSALEHIA; YITMEN, 2016).

De acordo com o resultado da pesquisa, a reconstrução 3D de canteiros por fotogrametria digital foi destacada como uma das três tecnologias com maior potencial para o monitoramento do progresso. No estudo, foi destacado que os modelos de nuvem de pontos podem ser facilmente associados à modelos BIM para inspeções periódicas de progresso (ALIZADEHSALEHIA; YITMEN, 2016). Alizadehsalehia e Yitmen (2016) e Salehi e Yitmen (2018) enfatizaram que a fotogrametria digital é o método mais difundido, de fácil utilização e vantajoso para a geração de dados visuais de canteiros utilizados no monitoramento do progresso, pois permite a obtenção de múltiplas informações de forma precisa e econômica.

No seu estudo, Alizadehsalehia e Yitmen (2016) também apresentam um quadro resumo com as principais características da tecnologia de fotogrametria digital para o monitoramento do progresso, destacando os requisitos necessários, processos envolvidos e benefícios de uso dessa tecnologia, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais características da tecnologia de fotogrametria digital para o monitoramento do progresso de obras

<b>Tecnologia de fotogrametria digital para o monitoramento do progresso de obras</b>		
<b>Requisitos</b>	<b>Procedimentos</b>	<b>Benefícios</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleção da câmera;</li> <li>• Definição dos posicionamentos das imagens para minimizar interrupções na linha de visão da câmera;</li> <li>• A câmera deve ser programada e equipada com funções de inclinação e zoom;</li> <li>• Definição dos meios para transferência e arquivamento dos dados de imagem (conexão web e servidor de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros contínuos de imagens de alta resolução do canteiro para representação de atributos geométricos e aparência dos elementos (tamanho, forma, faces, cor, localização de objetos, etc.);</li> <li>• Processamento automático das imagens com uso de ferramenta computacional específica para a obtenção de modelos 3D do canteiro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação de baixo custo;</li> <li>• Possibilita aquisição flexível de dados;</li> <li>• Compartilhamento de imagens da obra em escala maciça;</li> <li>• Possibilidade de integração com outras tecnologias de dados visuais para análise e monitoramento do progresso;</li> <li>• Detecção visual de elementos construídos e apoio à atualização do cronograma de construção;</li> <li>• Comparação de diferentes status da construção e identificação de desvios de progresso.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Alizadehsalehia e Yitmen (2016)

### 3.4 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, são definidos como aeronaves remotamente pilotadas que operam sem piloto a bordo (KIM; IRIZARRY, 2015). Segundo Kim e Irizarry (2015), os VANTs funcionam por meio da combinação de hardwares e softwares, nos quais as plataformas não

tripuladas são equipadas para coleta e, em alguns casos, também processamento de dados sem intervenção humana direta (remotamente controlados).

Inicialmente, a tecnologia de sistemas não tripulados foi desenvolvida para fins militares (KIM; IRIZARRY, 2015). No entanto, devido à sua crescente popularização, miniaturização de suas peças e componentes, e reconhecimento por outros setores, foi possível identificar o potencial dos VANTs para aplicações civis, federais e comerciais, com destaque para usos na engenharia civil e arquitetura (PURI, 2005, MELO *et al.*, 2017). Tal fato é ainda reforçado pela possibilidade de acoplar aos VANTs diferentes dispositivos, como câmeras, sensores, lasers e dispositivos de posicionamento e localização espacial (GPS - *Global Positioning System*); bem como a possibilidade de monitoramento e controle das unidades de estabilização e navegação da aeronave, implicando em voos mais precisos e seguros (EISENBEIß, 2009; PURI, 2005).

No que diz respeito à operabilidade, os VANTs podem ser operados de três maneiras: (1) operação autônoma, controlados apenas por computadores e sistemas de piloto automático; (2) remotamente controlados por um piloto humano, por meio de uma estação de controle portátil ou estacionária; ou (3) operação semiautônoma, também chamada de automatizada, que funciona como uma combinação das duas outras (MORGENTHAL; HALLERMANN, 2014; COLOMINA; MOLINA, 2014).

Em comparação com aeronaves tripuladas, Eisenbeiß (2009) e Morgenthal e Hallermann (2014) destacam as seguintes vantagens dos VANTs:

- são muito mais simples de operar, necessitando apenas de um operador no comando da estação de controle, que controla a aeronave e os dispositivos acoplados, e ao menos um observador, para apoio na operação;
- são mais rápidos e leves, possuindo muito mais mobilidade de voo;
- são mais seguros, possibilitando o monitoramento aproximado de estruturas, objetos e áreas de difícil acesso ou em situações de risco, mas sem colocar vidas humanas em perigo;
- é uma tecnologia que em geral está associada a custos mais baixos, tanto no que diz respeito ao equipamento em si, quanto aos custos de operação e manutenção, uma vez que não são sobrecarregados por limitações e despesas econômicas com pilotos e/ou tripulação a bordo.

Segundo Morgenthal e Hallermann (2014), apesar de todos estes benefícios, alguns VANTs apresentam certas limitações, especialmente os menores e mais leves. Por conta do seu tamanho reduzido, apenas dispositivos pequenos e com pesos compatíveis podem ser acoplados à plataforma. Tal limitação também impacta no tamanho e capacidade de suas baterias, uma vez que a principal fonte de energia dos VANTs é a energia elétrica (principalmente os menores e com sistema de asas rotativas), reduzindo assim o tempo total de operação (autonomia de voo). Outro aspecto também afetado pelo baixo peso da aeronave é a sensibilidade do seu sistema de voo, o qual sofre interferência direta de mudanças meteorológicas, como chuvas e ventos mais fortes (MORGENTHAL; HALLERMANN, 2014).

Morgenthal e Hallermann (2014) ainda destacam, que para um adequado uso do VANT é necessário um piloto com experiência, e que sejam seguidas as exigências de operação reguladas pelas autoridades que controlam o espaço aéreo do país.

#### **3.4.1 VANT para Mapeamento 3D e Monitoramento do Progresso de Obras**

Levantamentos fotogramétricos com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido bastante explorados para mapeamentos 3D de pequenas áreas, de obras de engenharia, em estudos ambientais, de áreas de mineração, entre outras aplicações relacionadas à engenharia civil. Tal ocorrência possui como principais motivações a busca por imagens que fossem capturadas de diferentes posições (ângulos, alturas e proximidades) para a geração de reconstruções 3D com maior acurácia; além da maior acessibilidade, agilidade de operação e menor custo associado ao VANT, com manutenção da boa qualidade e precisão dos dados, quando comparados a métodos convencionais de fotogrametria aérea (REMONDINO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014; QU *et al.*, 2017).

Quanto ao uso do VANT para mapeamento 3D de canteiros, o desenvolvimento de reconstruções 3D a partir de imagens aéreas de VANTs tem se mostrado uma alternativa com potencial para algumas aplicações relacionadas à gestão de obras, tais como monitoramento do progresso, análises logísticas, controle de qualidade, tarefas de medição e levantamento topográfico (SIEBERT; TEIZER, 2014; KIM, *et al.*, 2016; HAM *et al.*, 2016; ÁLVARES *et al.*, 2016). Tal aplicabilidade está relacionada à capacidade de fornecer acesso confiável, seguro e rápido a uma vasta gama de informações a respeito do atual estado da construção (MCCABE *et al.*, 2017).

Assim, no que diz respeito ao uso de imagens registradas com VANT para auxílio no monitoramento do progresso da obra, estudos recentes vêm explorando a utilização dessa tecnologia como a principal fonte para mapeamentos 3D de canteiros, buscando uma representação mais realística do atual status da obra (LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015; TUTTAS *et al.*, 2017; QU *et al.*, 2017). Com a utilização do VANT para a coleta de imagens, o processo de mapeamento 3D fotogramétrico do canteiro torna-se mais fácil e rápido, bem como mais completo e com maior qualidade visual e de informações, devido às possibilidades de captura e recobrimento oferecidas pelo VANT (ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018).

Lin, Han e Golparvar-Fard (2015) indicam como principais vantagens da utilização do VANT para apoio no monitoramento visual do progresso de obras:

- Possibilidade de documentação visual de todo o canteiro e de mudanças que constituem desvios de progresso: as fotografias registradas com o VANT possuem precisas informações geométricas e de aparência, facilitando a detecção do status de progresso de componentes da construção. Além disso, o VANT possibilita a aquisição de imagens do canteiro de forma mais completa, inclusive em áreas de difícil acesso ou relativamente perigosas, tais como coberturas, fachadas altas, próximos de aberturas em lajes e de grandes escavações.
- Campo de visão mais amplo em imagens de pequenas distâncias: por possibilitar registros de diferentes posições, alturas e angulações, o VANT permite a minimização de oclusões aos elementos construídos (principal foco das imagens registradas em canteiro), como oclusões por muros e pilares, movimentos de equipamentos e trabalhadores, entre outros.
- Possibilidade de recobrimento eficiente do canteiro: permite o registro visual de todo o canteiro de maneira rápida, com alta frequência, com uma quantidade otimizada de imagens e envolvendo custos relativamente baixos.

### 3.5 ESTUDOS QUE ABORDAM O USO DE TECNOLOGIAS DE DADOS VISUAIS PARA O MONITORAMENTO DO PROGRESSO DE OBRAS

Nesta seção são apresentados alguns exemplos de estudos desenvolvidos que abordam a aplicação de tecnologias digitais que possuem representação de dados visuais, para o monitoramento do progresso de obras. Para identificação de tais

estudos, foi desenvolvido levantamento bibliográfico em bases de dados científicos, com seleção de publicações relevantes relacionadas à temática abordada.

A seguir são apresentados alguns desses estudos, destacando aqueles que abordam as principais tecnologias discutidas neste capítulo: *Building Information Modeling* (BIM), mapeamento 3D, e Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), de forma a contextualizar o panorama da temática. Os trabalhos discutidos nessa seção estão organizados da seguinte maneira, de acordo com a abordagem das tecnologias:

- 1) Trabalhos que abordam o uso do BIM para o monitoramento do progresso;
- 2) Trabalhos que abordam o uso do BIM e modelos de nuvem de pontos por fotogrametria digital para o monitoramento do progresso;
- 3) Trabalhos que abordam o uso do BIM e modelos de nuvem de pontos gerados com uso de VANT para o monitoramento do progresso.

### 3.5.1 Uso da Tecnologia BIM

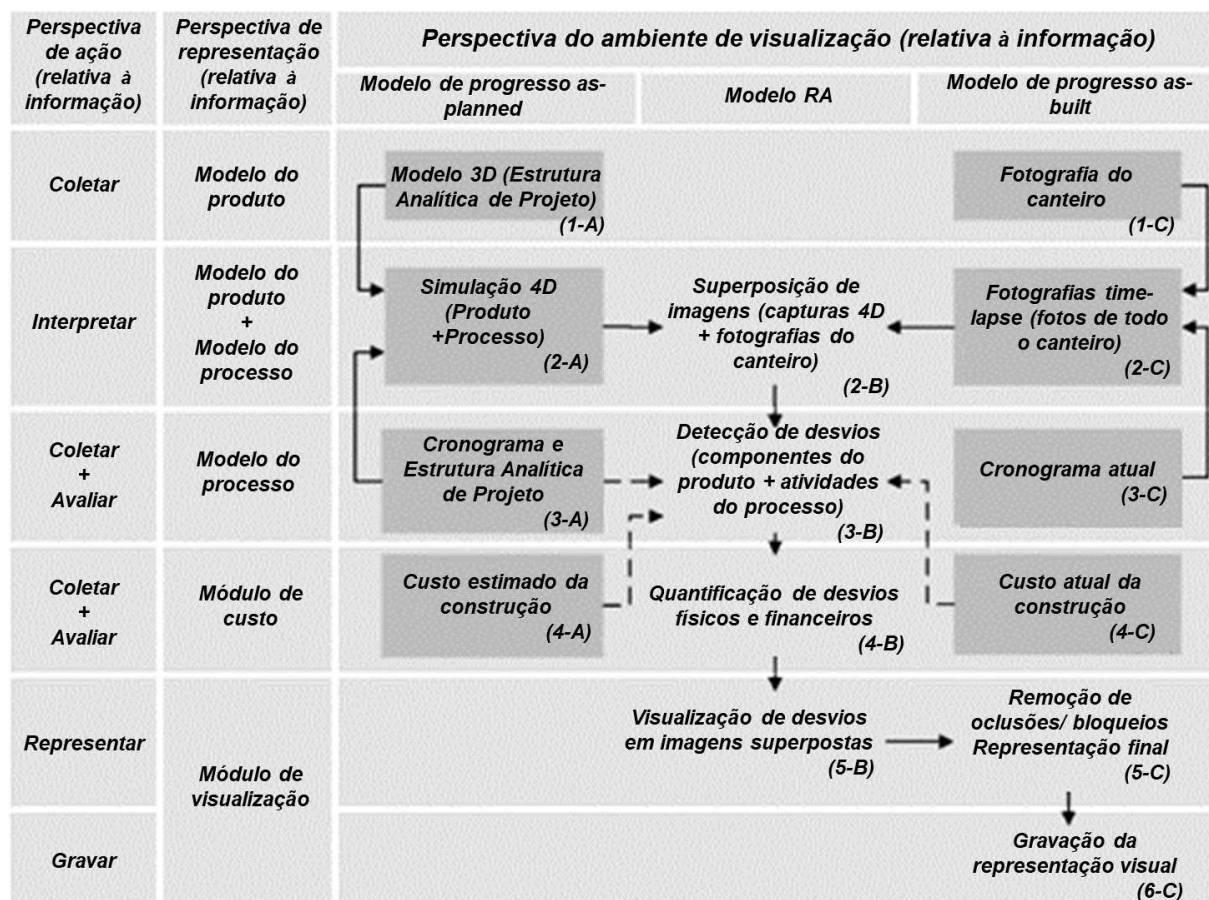
Golparvar-Fard *et al.* (2009) apresentam em seu estudo uma técnica visual para monitoramento do progresso, a partir da sobreposição de modelos BIM 4D (modelo *as-planned*) com imagens *Time-Lapse*<sup>2</sup> registradas em canteiro (modelo *as-built*), tendo como resultado uma interface única de visualização. O modelo de monitoramento visual apresentado integra o BIM 4D e as fotografias *Time-Lapse* dentro de um ambiente de Realidade Aumentada (RA) (observação do ambiente real como plano de fundo de um modelo virtual), no qual os desvios de progresso podem ser identificados visualmente (GOLPARVAR-FARD *et al.*, 2009).

No estudo, Golparvar-Fard *et al.* (2009) propõem o uso do modelo BIM 4D juntamente com informações da Estrutura Analítica de Projeto, cronograma e orçamento da obra, como informações base para a referência visual usada no monitoramento do progresso. Na Figura 5 é apresentada a estrutura de funcionamento do sistema proposto por Golparvar-Fard *et al.* (2009) a partir de três perspectivas: a de ação, a do nível de representação, e a do ambiente de visualização das informações.

---

<sup>2</sup> Imagens ou fotografias *Time-Lapse* estão associadas à técnica de captura de diversas fotos sequenciais de uma mesma cena (por uma câmera fixa), ao longo de um período de tempo e, em seguida, reproduzidas em sequência como um vídeo de curta duração (TIME-LAPSE, 2018).

Figura 5 – Sistema de monitoramento visual do progresso de obras proposto por Golparvar-Fard et al. (2009)

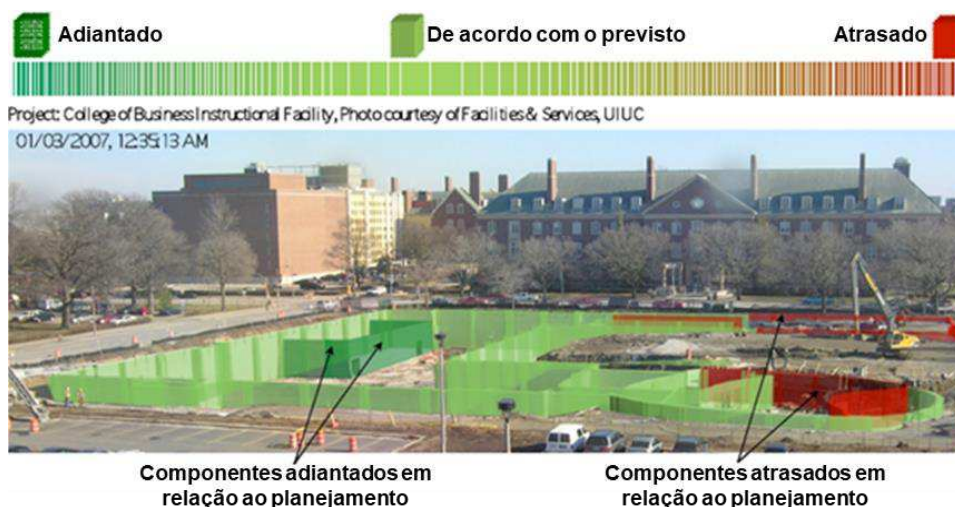


Fonte: Adaptado de Golparvar-Fard et al. (2009)

No modelo do sistema proposto por Golparvar-Fard et al. (2009), o progresso da obra é identificado visualmente pelo usuário, a partir da sobreposição do modelo 4D (progresso planejado) com as imagens *Time-Lapse* (progresso real). A partir de então, o status do progresso é classificado por cores, conforme apresentado na Figura 6. Na Figura 6, os elementos que estão de acordo com o progresso planejado encontram-se na cor verde clara, os elementos adiantados estão em verde escuro e os atrasados estão representados em vermelho (GOLPARVAR-FARD et al., 2009).

Como principais benefícios do sistema, Golparvar-Fard et al. (2009) destacam que a análise de representações visuais do canteiro auxilia gestores na compreensão e comunicação do progresso de maneira espacialmente posicionado, na identificação de desvios de forma mais clara, e na geração de relatórios visuais mais inteligentes.

Figura 6 – Exemplo de modelo 4D classificado por cores e sobreposto à imagem do estado real da construção, segundo o sistema proposto por Golparvar-Fard *et al.* (2009)



Fonte: Adaptado de Golparvar-Fard *et al.* (2009)

Outro estudo que também aborda o uso de imagens para o monitoramento do progresso foi desenvolvido por Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014), no qual os autores apresentam o sistema digital “ConstructAide”. Esse sistema consiste em um conjunto de ferramentas que permitem, entre outras funções, visualizar e avaliar o progresso da obra pela integração de fotos coletadas em canteiro, modelos BIM 3D e dados de planejamento (KARSCH; GOLPARVAR-FARD; FORSYTH, 2014).

Por meio de sua interface, Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014) comentam que o “ConstructAide” permite que os usuários explorem o sistema da seguinte forma:

- Visualização fotorrealística: renderizações automáticas do modelo virtual sobrepostas às fotografias reais do canteiro, com identificação e segmentação de elementos oclusivos;
- Monitoramento do progresso: acompanhamento visual do estado atual da construção, sendo determinados componentes atrasados, adiantados, ou construídos no prazo de acordo com o planejamento, além de possibilitar anotações nas fotos inseridas para edição/análise colaborativa;
- Navegação 4D: visualização seletiva de cenas fotografadas em diferentes momentos (passado, presente e futuro – com base no modelo BIM 4D).

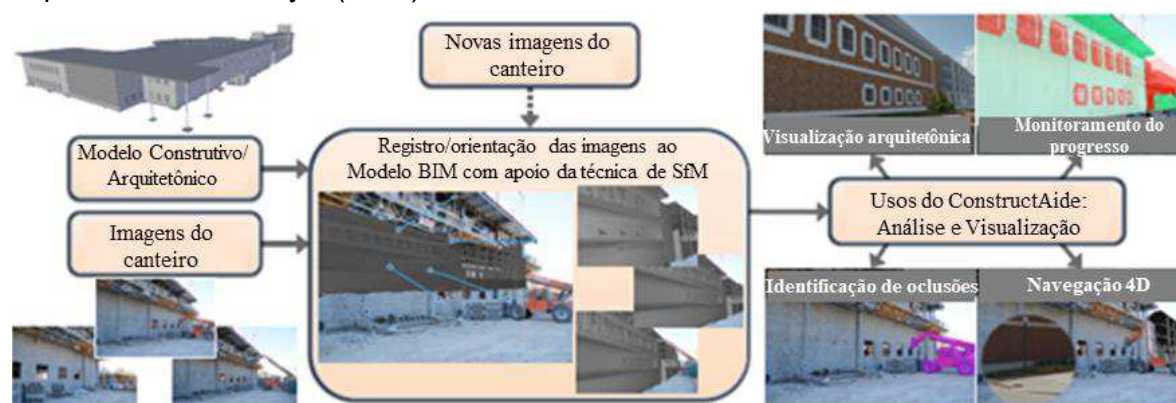
De acordo com Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014), as interações proporcionadas pelo “ConstructAide” são facilitadas por alguns processos automatizados do sistema. Tais processos incluem a remoção automática de oclusões estáticas e dinâmicas, renderização automática de cenas, e seleção semântica de



componentes da construção com apoio da técnica fotogramétrica de *Structure from Motion* (SfM), permitindo a orientação automática das imagens ao modelo BIM.

No entanto, Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014) comentam como limitação a dependência do sistema a pequenas intervenções do usuário, como em processos necessários para registros precisos entre imagens e para correção de erros que podem ocorrer, por exemplo, no tratamento de oclusões. Outras limitações levantadas são a necessidade de um modelo BIM de elevada precisão, e de dados de planejamento que estejam completos e que possuam elevada confiabilidade (KARSCH; GOLPARVAR-FARD; FORSYTH, 2014). Na Figura 7 é apresentado um esquema que ilustra o funcionamento geral do sistema “ConstructAide”.

Figura 7 – Funcionamento geral do sistema “ConstructAide” desenvolvido por Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014)



Fonte: Adaptado de Karsch, Golparvar-Fard e Forsyth (2014)

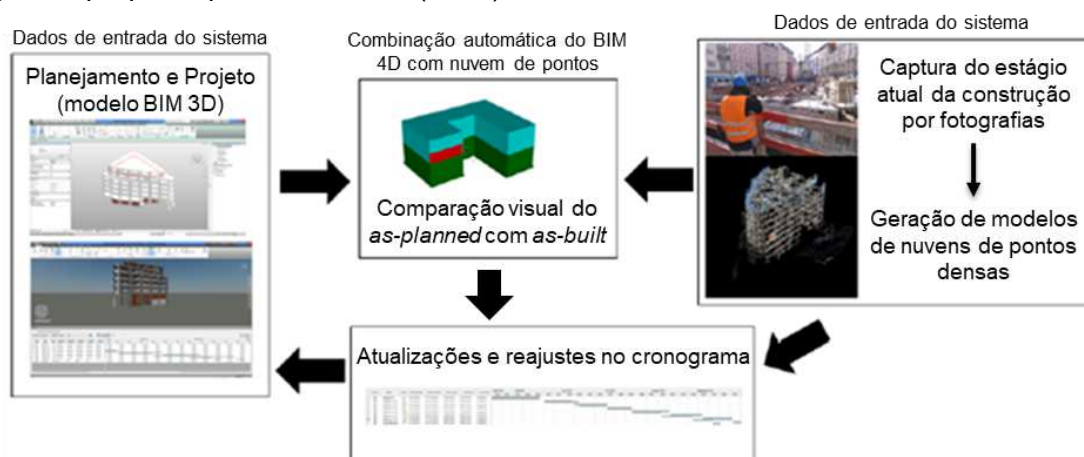
### 3.5.2 Uso da Tecnologia BIM e Nuvem de Pontos por Fotogrametria Digital

Braun *et al.* (2015) propõem, em seu estudo, uma abordagem para o monitoramento do progresso por meio da comparação automatizada entre o estado atual da obra, detectado por levantamentos fotogramétricos do canteiro, e o estado planejado, fornecido por modelos BIM 4D, visando a identificação precoce de desvios no processo de construção. As principais etapas da abordagem proposta por Braun *et al.* (2015) são apresentadas no esquema ilustrado da Figura 8.

As informações de entrada do sistema incluem o modelo BIM 3D e o planejamento da construção, os quais são integrados para geração do BIM 4D (BRAUN *et al.*, 2015). Ao longo da obra, o canteiro é continuamente monitorado pela captura de imagens para registro do estado construído, sendo tais imagens inseridas no sistema e processadas, gerando modelos de nuvem de pontos densas (BRAUN *et al.*, 2015). O modelo de nuvem de pontos é, então, automaticamente combinado com

o modelo BIM 4D. A partir desta combinação, é feita a comparação e detecção automática de desvios de progresso, de forma a permitir aplicação de ações corretivas e atualizações no cronograma das atividades remanescentes (BRAUN *et al.*, 2015).

Figura 8 – Principais etapas da abordagem de monitoramento visual automatizado do progresso proposta por Braun *et al.* (2015)



Fonte: Adaptado de Braun *et al.* (2015)

Para a combinação e comparação automática entre o modelo de nuvem de pontos e o BIM, são utilizadas técnicas computacionais e algoritmos de detecção que se baseiam na geometria dos elementos (de ambos os modelos), e nas relações de precedência entre as atividades de construção (BRAUN *et al.*, 2015). Assim, é detectada a existência ou não de certo elemento na nuvem de pontos, a partir do que está representado no modelo BIM. No entanto, Braun *et al.* (2015) chamam atenção, que apesar da abordagem proposta ser quase totalmente automatizada, há algumas limitações, como a não identificação automática de certos elementos devido a oclusões, ruídos ou registro insuficiente de imagens na geração da nuvem de pontos.

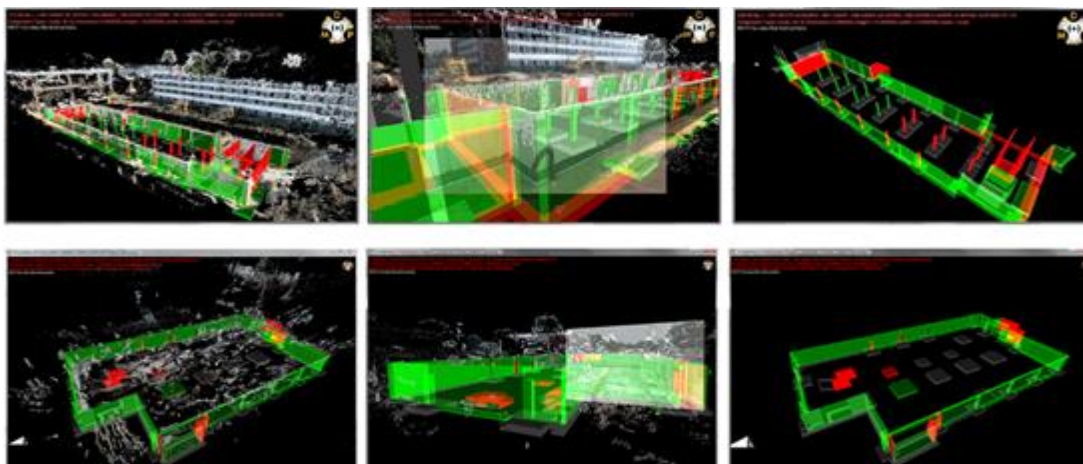
Outro estudo que também trata do uso de nuvem de pontos fotogramétrica para o monitoramento do progresso, foi desenvolvido por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015). Assim como a abordagem trazida por Braun *et al.* (2015), o sistema apresentado por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015) propõe o reconhecimento automatizado do progresso físico de obras, a partir da comparação de modelo BIM 4D com modelo gerado pelo processamento de imagens.

Quanto ao funcionamento do sistema desenvolvido por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015), inicialmente, dado um conjunto de imagens do canteiro registradas por câmeras manuais, estas são processadas automaticamente com uso da técnica de *Structure from Motion* (SfM) e algoritmos específicos. A partir desse

processamento, o canteiro é reconstruído de maneira fotorrealística, com minimização de oclusões aos elementos construídos, sendo obtido como produto final desta etapa um modelo de nuvem de pontos densa em quatro dimensões (3D + tempo) (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2015).

Posteriormente, o modelo BIM 4D é associado ao modelo de nuvem de pontos por um processo robusto de registro automático entre os modelos, com uso de técnicas de visão computacional. A partir de então, ocorre a detecção e quantificação automática do progresso físico da obra, pela aplicação de um modelo probabilístico bayesiano (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2015). Tal progresso é visualizado numa plataforma tridimensional interativa, na qual os desvios (elementos atrasados e adiantados) são automaticamente classificados por cores, seguindo o mesmo padrão de cores usado por Golparvar-Fard *et al.* (2009) (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2015), como apresentado nos exemplos da Figura 9.

Figura 9 – Exemplo de modelos visuais com classificação do progresso por cores apresentados por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015)



Fonte: Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015)

Apresentado uma abordagem um pouco mais gerencial, Lin e Golparvar-Fard (2017) trazem em seu estudo um sistema com funcionamento parecido ao de Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015), porém focado na gestão visual da produção para um controle proativo em canteiros. O sistema promove a reconstrução visual da evolução real da obra, em formato de nuvens de pontos 4D, que são geradas pelo processamento de imagens registradas ao longo do processo de produção. Tais nuvens de pontos são automaticamente associadas ao modelo BIM 4D, promovendo, portanto, uma análise integrada do planejamento com o desempenho da obra, em ambiente visual e acessível a todos (LIN, GOLPARVAR-FARD, 2017).

O sistema permite a identificação visual de qual serviço está sendo executado, em qual localização e qual o responsável, além de rastrear o progresso e produtividade atual numa base semanal de atualização, já que é possível vincular também dados adicionais, como a produtividade em homens-hora (LIN, GOLPARVAR-FARD, 2017). Como outra funcionalidade do sistema, Lin e Golparvar-Fard (2017) também apontam a possibilidade de identificar inferências causadas por potenciais atrasos na produção, apoiando de forma colaborativa o processo de tomada de decisão.

Como forma de testar o sistema e sua contribuição para o controle da produção, Lin e Golparvar-Fard (2017) realizaram um estudo de caso numa obra de um edifício, durante um período de 4 meses com coleta de dados semanais. Os resultados mostraram que o sistema possui potencial para aumento da produtividade geral, diminuição de desvios, melhora da coordenação, comunicação e compreensão do progresso (atual e esperado). Tais resultados contribuem para a melhoria dos fluxos de informação e maior transparência, pela visualização mais realista das condições atuais e planejadas da obra, além de ajudar na melhoria do planejamento e controle da produção em nível operacional (LIN, GOLPARVAR-FARD, 2017).

### **3.5.3 Uso da Tecnologia BIM e Nuvem de Pontos Geradas com Apoio de VANT**

No estudo realizado por Lin, Han e Golparvar-Fard (2015) é proposto o uso de VANT para aquisição de imagens de canteiros. O VANT é utilizado como forma de garantir a completude e precisão na aquisição de dados para o mapeamento 3D do atual estado da obra, buscando informações com nível de detalhe suficiente para o monitoramento do trabalho em andamento (LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015).

A abordagem apresentada baseia-se também no uso de um modelo BIM 4D com LOD elevado (referência para o monitoramento do progresso), e comparação automática deste com nuvem de pontos do canteiro (LIN; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015). Como um destaque da abordagem apresentada por Lin, Han e Golparvar-Fard (2015), o modelo BIM é também utilizado como a referência espacial (geometria, aparência e posicionamento), para orientar a aquisição de imagens com o VANT.

Já no estudo desenvolvido por Tuttas *et al.* (2017), é proposta uma nova estratégia para a geração de nuvem de pontos de canteiros, com foco na atividade de co-registro consecutivo das nuvens de pontos. Este co-registro é realizado de forma

a representar os diferentes estados da construção ao longo do tempo. Além disso, no estudo é avaliada a precisão dos dados gerados a partir desta nova estratégia (precisão dos pontos e desvios do modelo), de forma que seja possível o uso dessas nuvens de pontos para monitoramento do progresso (TUTTAS *et al.*, 2017).

Para teste dessa nova estratégia, dois estudos de caso foram realizados em empreendimentos diferentes, envolvendo registros de imagens com câmera manual e com VANT (TUTTAS *et al.*, 2017). A partir dessa avaliação, foi identificada uma precisão de co-registro que possibilita a utilização da estratégia desenvolvida, apenas para verificação da existência ou não de elementos construídos (TUTTAS *et al.*, 2017).

Quanto à abordagem específica do VANT no estudo, Tuttas *et al.* (2017) o compara com uma câmera digital manual na aquisição contínua de imagens, visando a geração de nuvens de pontos de canteiros e seu co-registro contínuo. Na comparação, o VANT foi mais bem-sucedido por fornecer imagens de diferentes ângulos e alturas, possibilitando um recobrimento completo do canteiro, com maior controle das sobreposições entre imagens (TUTTAS *et al.*, 2017). No entanto, limitações do VANT também foram levantadas, como questões de segurança, em relação à manutenção de distâncias seguras entre o VANT e obstáculos (como guias e edifícios); e limitações de operação por questões de regulamentações locais (TUTTAS *et al.*, 2017).

No trabalho apresentado por Qu *et al.* (2017), a abordagem é focada na utilização integrada da tecnologia de fotogrametria oblíqua com uso do VANT e tecnologia BIM. Como forma de testar a comparação visual entre o mapeamento 3D fotogramétrico (modelo *as-built*) e o modelo BIM (*as-planned*), foi desenvolvido um estudo de caso numa obra de edificação na China. Nesse estudo de caso foi realizado o levantamento fotogramétrico oblíquo com uso do VANT para geração de um modelo de nuvem de pontos da edificação em construção, visando o monitoramento dinâmico da obra e avaliação quantitativa do progresso (QU *et al.*, 2017).

Os resultados do estudo realizado por Qu *et al.* (2017) incluíram visualizações 3D do progresso da construção, conforme apresentado na Figura 10. Nestas visualizações (Figura 10) são destacados os elementos do modelo BIM ainda não construídos, os identificados como construídos, e aqueles que não é possível identificação do status apenas pela comparação entre os modelos (nuvem de pontos x modelo BIM) (QU *et al.*, 2017).

Figura 10 – Exemplo de ilustrações 3D do progresso proposta por Qu *et al.* (2017)



Fonte: Adaptado de Qu *et al.* (2017)

A pesquisa desenvolvida mostrou que a fotogrametria por VANT, em conjunto com a tecnologia BIM (aplicadas de forma integrada), fornece uma coleta de dados eficiente e precisa do atual estado da construção e ilustração do progresso da obra (QU *et al.*, 2017). De forma complementar, Qu *et al.* (2017) destacam ainda que o VANT se caracteriza como uma nova tecnologia capaz de coletar informações da obra de maneira rápida, econômica e eficiente, permitindo a aquisição de imagens de alta qualidade e de diferentes ângulos durante o voo, sendo essas particularmente úteis na geração de modelos geométricos 3D de alta precisão.

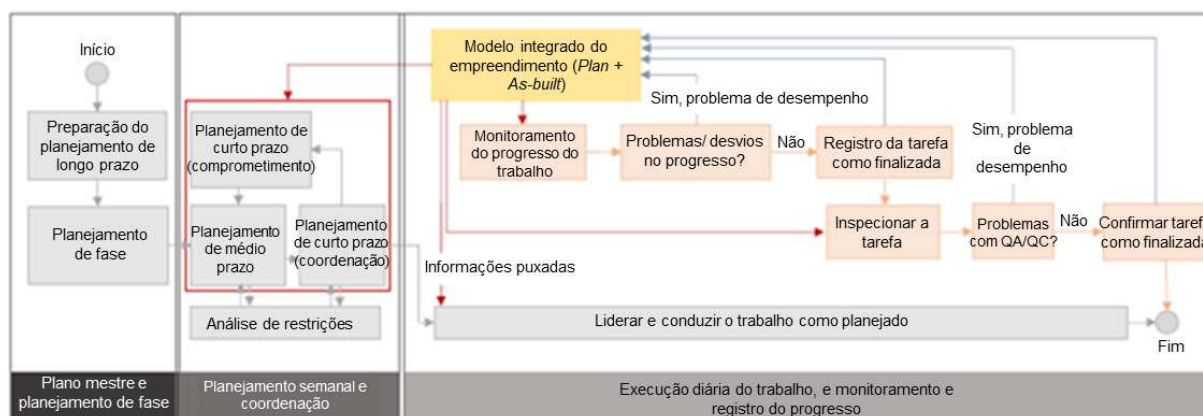
De uma maneira mais focada nos procedimentos gerenciais, Han e Golparvar-Fard (2015b) apresentam ainda o potencial de um sistema para apoio ao controle da produção, que se baseia em abordagens trazidas por estudos recentes (trabalhos anteriores destes autores). Tais abordagem são relativas à detecção, análise visual e documentação do progresso de construções, a partir de imagens registradas diariamente em canteiros e da tecnologia de *Building Information Modeling* (BIM).

No entanto, como novo atributo às abordagens conhecidas, Han e Golparvar-Fard (2015b) introduzem a documentação do trabalho em andamento a partir de câmeras integradas à Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e orientadas com auxílio do modelo BIM, como forma de simplificar e otimizar a coleta de dados em campo. Tais imagens são utilizadas para geração automática de modelos de nuvem de pontos, que retratam o atual estado da obra. Estes modelos são, em sequência, associados automaticamente a modelos BIM 4D numa base semanal, para acompanhamento automático do progresso (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015b).

Além disso, os referidos autores desenvolveram uma plataforma web para exposição e análise dos modelos integrados. O objetivo desta plataforma foi estimular a coordenação e colaboração entre os gestores, descentralizando a tomada de decisão, por uso de um meio compartilhado e eficaz de acessos a informações (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015b). Han e Golparvar-Fard (2015b) destacam que o sistema proporciona boa detecção, análise e comunicação do status da obra entre as equipes, servindo de suporte às atividades diárias e ao planejamento de curto prazo.

Han e Golparvar-Fard (2015b) apresentado ainda uma visão geral do fluxo de informações previsto, a partir da aplicação do sistema proposto. O fluxo apresentado baseia-se num ciclo contínuo, que agrega o planejamento de curto prazo e o controle diário com base em dados visuais, seguindo os níveis de planejamento do sistema *Last Planner*, como mostrado na Figura 11 (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015b).

Figura 11 – Fluxo de informações previsto a partir da aplicação do sistema proposto por Han e Golparvar-Fard (2015b)



Fonte: Adaptado de Han e Golparvar-Fard (2015b)

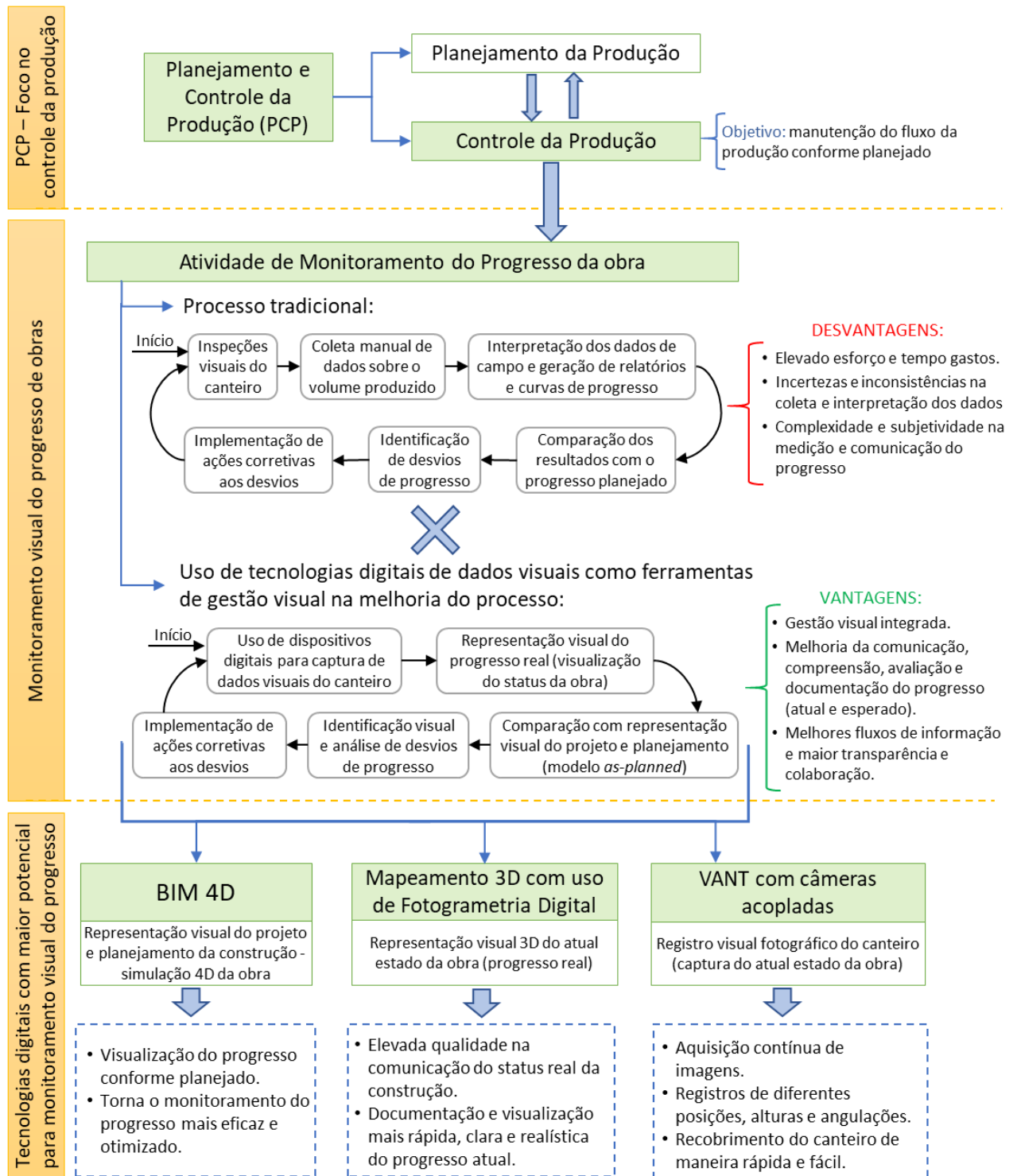
Entretanto, os autores também comentam que tal sistema possui desafios, tais quais: (1) necessidade de um bom nível de visibilidade dos modelos de nuvem de pontos, que nem sempre é constate devido a interferências na captura das imagens; (2) necessidade de modelos BIM com elevado nível de desenvolvimento (LOD); e (3) necessidade de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP) detalhada, associadas aos modelos BIM 3D para geração adequada do 4D (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2015b).

### 3.6 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO 3 E ESTRUTURA CONCEITUAL DA PESQUISA

A partir dos conceitos, definições e estudos relacionados, apresentados ao longo dos capítulos de revisão da literatura (**Capítulos 2 e 3**), foi possível delinear uma

estrutura de conexão conceitual (*conceptual framework*) para o presente trabalho, conforme apresentada na Figura 12. No esquema da Figura 12 é apresentado um resumo dos principais conceitos abordados, destacando suas conexões em função do olhar que este trabalho possui sobre tais assuntos.

Figura 12 – Esquema da estrutura conceitual da pesquisa (*Conceptual Framework*)



Fonte: Elaborado pela autora



Este esquema da estrutura conceitual da pesquisa (Figura 12) apresenta três grandes tópicos: (1) o Planejamento e Controle da Produção (PCP), com foco no controle da obra; (2) o monitoramento do progresso de obras, com destaque ao monitoramento visual; e (3) as tecnologias digitais utilizadas no monitoramento visual do progresso que integram o escopo deste trabalho, incluindo o BIM 4D, o mapeamento 3D de canteiros por fotogrametria digital, e o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Em relação ao PCP, pode ser destacado o processo de controle como elemento essencial para a manutenção do fluxo da produção conforme planejado, visando o atendimento aos objetivos de prazo, custo, qualidade, recursos, etc. Além da necessidade de sistematização e estruturação contínua de suas etapas e procedimentos.

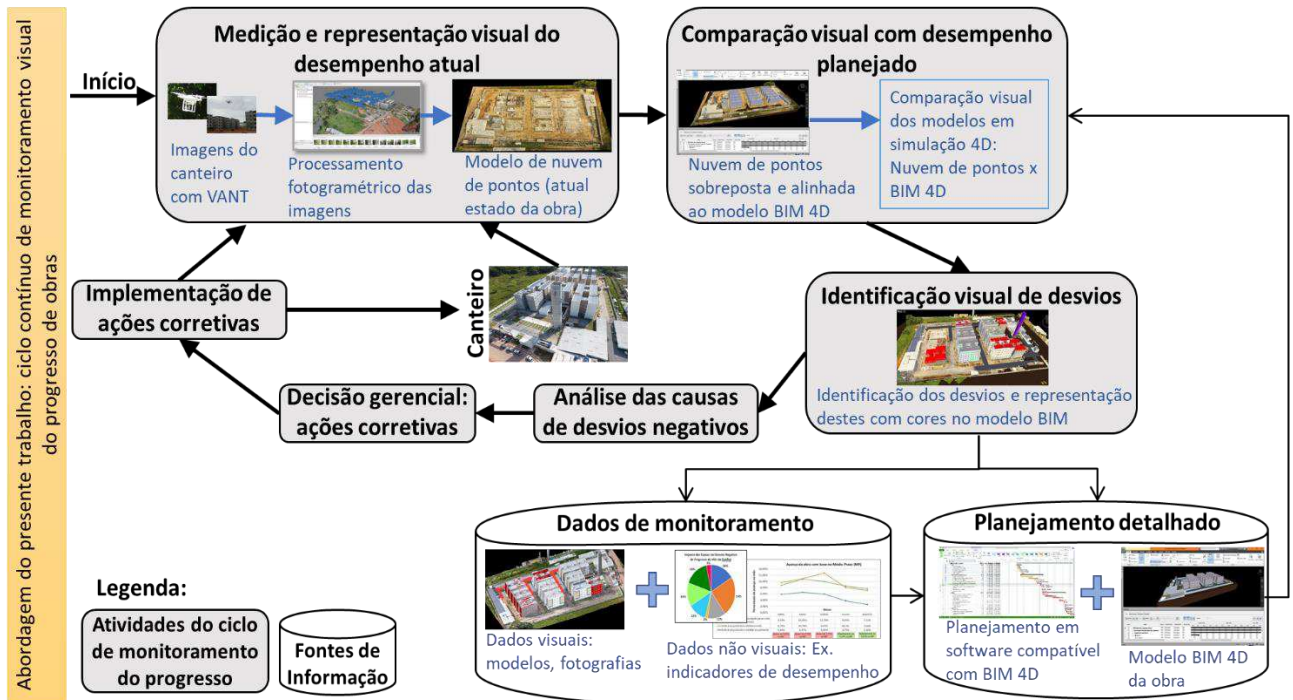
Já o monitoramento do progresso de obras, considerado como uma das principais atividades relacionadas ao controle, possui uma estrutura tradicional pautada em frequentes observações individuais, aquisição manual de dados, interpretações subjetivas e documentação textual. Tais práticas possuem como desvantagens o grande esforço e tempo gasto, além de incertezas e falhas na coleta, análise e revisão dos dados de progresso. Na busca pelo aprimoramento de tal atividade, estudos apontam o uso de tecnologias digitais como ferramentas de gestão visual, como forma de obter um monitoramento do progresso mais integrado, rápido, eficiente, transparente e colaborativo.

Inserido nesse contexto, são abordadas ao longo do presente capítulo tecnologias digitais utilizadas no monitoramento visual do progresso de obras. São apresentadas aquelas que mais se destacam quanto ao potencial para representação visual do projeto e planejamento da construção, representação visual do atual estado da obra, e registro visual de canteiros. Tais tecnólogas, que compõem o escopo do presente trabalho, incluem o *Building Information Modeling* (BIM), com foco no BIM 4D, o mapeamento 3D, com foco nos modelos de nuvem de pontos fotogramétricos, e o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) com câmeras acopladas. As principais características destas tecnologias para o monitoramento do progresso também são destacadas no esquema da estrutura conceitual da pesquisa (Figura 12).

Com base nas abordagens trazidas por estudos relacionados à temática, usados como fonte para a revisão da literatura deste trabalho, foi possível identificar os

potenciais e benefícios de cada uma das três tecnologias abordadas, visando obter um monitoramento visual do progresso que retorne informações chave para a tomada de decisão. Assim, como outra contribuição, foi também definida a estrutura de conexão das informações fornecidas por cada tecnologia adotada, a ser considerada para a composição do presente trabalho. Tal estrutura é apresentada na Figura 13 em forma de fluxo de atividades. Este fluxo (Figura 13) foi desenvolvido tentando posicionar as informações obtidas a partir das tecnologias adotadas, dentro das atividades do ciclo contínuo de controle da produção proposto por Navon (2007) (apresentado na Figura 2, página 18 deste trabalho).

Figura 13 – Fluxo contínuo de atividades para monitoramento visual do progresso de obras adotado no presente trabalho, incluindo estrutura de conexão das tecnologias utilizadas



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Navon (2007)

## 4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. No capítulo é abordada a estratégia de pesquisa adotada, o delineamento do estudo e o escopo de cada etapa de pesquisa definida.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada para o desenvolvimento deste trabalho é a *Design Science Research* (DSR). Esta foi escolhida por possuir como principal característica o uso do conhecimento na elaboração de novas soluções, aplicáveis a problemas práticos reais (situações ou tarefas concretas), com base em um suporte teórico válido e estruturado (MARCH; SMITH, 1995; VAN AKEN; ROMME, 2009).

Segundo Simon (1996<sup>3</sup> *apud* Lacerda *et al.*, 2013), a Engenharia, quando tratada em seu âmbito científico, busca projetar e construir artefatos (sistemas, ferramentas, métodos, modelos) que possibilitem solucionar problemas, sendo este o principal atributo da metodologia de *Design Science Research*. Segundo Van Aken e Romme (2009), pesquisas que seguem a *Design Science Research* estão direcionadas a projetar soluções para problemas relevantes e contextualizados, havendo uma colaboração entre o contexto teórico do problema e o artefato desenvolvido.

Para a *Design Science Research*, a solução de uma problemática em aberto ou aprimoramento de processos já desenvolvidos pode ser feita pela concepção, implementação (em um contexto real), e avaliação de artefatos ainda não existentes ou aplicações ainda não propostas, sendo criados novos ou recombinados e alterados produtos, processos, sistemas ou softwares já conhecidos (LACERDA *et al.*, 2013). De acordo com March e Smith (1995), os artefatos de pesquisa devem ser desenvolvidos de forma a atender a um propósito específico, testados de maneira prática em experimentos, estudos de caso ou oficinas, e, principalmente, avaliados quanto à sua utilidade, valor e desempenho associado ao contexto de aplicação.

Van Aken e Romme (2009) e Lacerda *et al.* (2013) destacam que uma pesquisa como base na *Design Science Research* deve seguir, em geral, as seguintes etapas:

- 1) Conscientização: levantamento do estado atual da temática, identificação e compreensão da problemática abordada por meio da revisão da literatura;

---

<sup>3</sup> SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

- 2) Sugestão: levantamento e desenvolvimento de alternativas de artefatos ou de elementos para a composição do artefato;
- 3) Desenvolvimento: concepção e construção estruturada do artefato proposto;
- 4) Avaliação: aplicação e verificação do uso e comportamento do artefato, com avaliação das respostas do artefato às soluções esperadas;
- 5) Conclusão: formalização do processo (etapas) e do produto gerado (artefato).

Quanto ao posicionando do presente trabalho na lógica da *Design Science Research*, o contexto no qual a problemática de pesquisa está inserida é o uso de tecnologias digitais para a melhoria da gestão e controle da produção em canteiros, abordando mais especificamente tecnologias de dados visuais para apoio ao monitoramento do progresso da obra. Já o problema a ser solucionado é a necessidade de práticas sistematizadas que proporcionem a integração das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D às dinâmicas de gerenciamento das obras, visando seu uso para apoio ao monitoramento visual do progresso. O problema abrange ainda a necessidade de melhor compreender o impacto do fluxo de informações e valor agregado, proporcionado pela adoção dessas tecnologias para o monitoramento do progresso, dentro da rotina de planejamento e controle das obras.

Em relação aos artefatos, March e Smith (1995) os classificam em quatro tipos principais: constructos, modelos, métodos e instanciações. No presente trabalho foi proposto um método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em mapeamentos 3D de canteiro com uso de VANT e modelos BIM 4D, sendo o mesmo implementado e avaliado em dois estudos de casos. A escolha por um artefato do tipo método está relacionada ao fato do método representar um conjunto de passos propostos para que determinado resultado seja obtido (LACERDA *et al.*, 2013), sendo esta a característica principal do artefato desenvolvido neste trabalho.

#### 4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

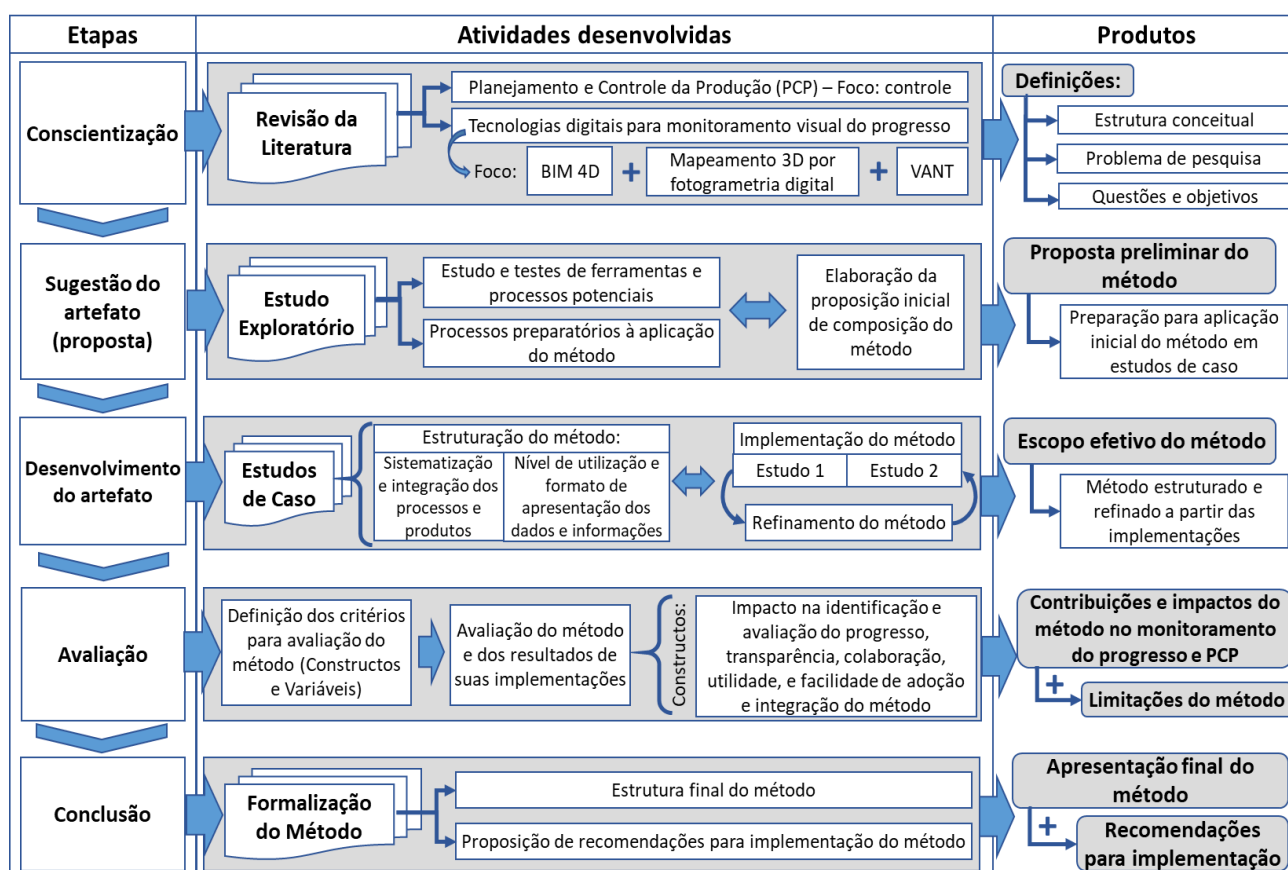
Com base na estratégia de pesquisa adotada (*Design Science Research*) e de forma a alcançar os objetivos propostos, o estudo foi desenvolvido de acordo com as seguintes etapas principais (Figura 14):

- 1) Conscientização: revisão da literatura, elaboração da estrutura conceitual do trabalho e compreensão do problema de pesquisa;

- 2) Sugestão do artefato (proposta): estudo exploratório prático em canteiro para testes de ferramentas e entendimento de processos relacionados ao método proposto, resultando na elaboração da sua proposta preliminar;
- 3) Desenvolvimento do artefato: estruturação e refinamento do escopo do método proposto, a partir da sua implementação em estudos de caso;
- 4) Avaliação: tanto do método quanto dos resultados obtidos em suas implementações, a partir da definição de constructos e variáveis de pesquisa;
- 5) Conclusão: formalização do método proposto, incluindo a apresentação de sua estrutura final e de recomendações para sua implementação.

O esquema com o delineamento geral da pesquisa é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Esquema com delineamento geral das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.3 ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO – REVISÃO DA LITERATURA

Esta etapa inicial teve por objetivo o levantamento e a análise do contexto atual das temáticas tratadas no estudo, visando a identificação e a compreensão do problema de pesquisa.

Para tal, foi realizada uma revisão da literatura focada em dois grandes tópicos. O primeiro foi o Planejamento e Controle da Produção (PCP) na construção civil, visando entender melhor o contexto de aplicação do método proposto, bem como os principais conceitos, estruturas e ferramentas já utilizadas para apoio ao controle da produção, com foco na atividade de monitoramento do progresso de obras. O segundo tópico estudado foi o uso de tecnologias digitais para monitoramento visual do progresso, com foco em aplicações do *Building Information Modeling* (BIM) e Mapeamento 3D fotogramétrico de canteiros com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Esta revisão buscou mapear o que já foi explorado nesta área do conhecimento e quais pontos ainda carecem de serem mais aprofundados.

Como principais desdobramentos da revisão da literatura foi construída a estrutura conceitual do trabalho, identificadas as lacunas e definido o problema de pesquisa. A revisão também serviu de embasamento para a formulação das questões, objetivos, delineamentos e planejamento do estudo. Como outra contribuição, os trabalhos anteriores relacionados à temática deram suporte à elaboração da versão preliminar do método proposto, e também à identificação dos constructos e variáveis de pesquisa que nortearam as avaliações realizadas no presente trabalho.

#### 4.4 ETAPA DE SUGESTÃO DO ARTEFATO – ESTUDO EXPLORATÓRIO

Na etapa de sugestão do artefato (proposta) foi realizado um estudo exploratório em uma obra, com o objetivo de desenvolver testes de ferramentas associadas ao método proposto e entender os processos práticos preparatórios, necessários à sua implementação no contexto de um empreendimento real. Tais testes e processos preparatórios tiveram como principal contribuição dar suporte prático à elaboração da proposta preliminar do método (artefato da pesquisa), uma vez que foi possível testar e entender a operacionalização de alguns pontos considerados chave para o método.

Dessa forma, foram desenvolvidas as seguintes atividades no estudo exploratório:

- entendimento do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na obra estudada;
- testes de ferramentas e processos para geração de mapeamentos 3D fotogramétricos do canteiro com uso de VANT;
- testes de ferramentas e processos para geração do modelo BIM 4D e sobreposição com nuvem de pontos para monitoramento visual do progresso.

O estudo exploratório foi realizado no período de julho de 2017 a março de 2018, em uma obra de um empreendimento residencial de um condomínio de prédios, denominada neste trabalho de Obra A. A seguir é apresentada a caracterização da Obra A e descrição das atividades desenvolvidas no estudo exploratório.

#### 4.4.1 Caracterização Geral da Obra A

A obra A corresponde a uma obra de edificações residenciais, localizada na cidade de Camaçari – BA (região metropolitana de Salvador). O empreendimento (Figura 15) consiste em um conjunto habitacional de interesse social do programa Minha Casa Minha Vida, com 20 edifícios (blocos) de 5 pavimentos e 4 unidades por pavimento, totalizando 400 unidades.

Figura 15 – Obra A: (a) Ilustração do empreendimento em planta; (b) Ortofoto do canteiro no dia 16/03/2018



Fonte: (a) Empresa construtora da Obra A; (b) Elaborado pela autora

O terreno da Obra A possui uma área total de 22.800 m<sup>2</sup> com 18.949,43 m<sup>2</sup> de área construída. Os principais métodos construtivos adotados incluem fundações em hélice contínua, acabamentos de fachada em pintura, e estrutura principalmente em paredes de concreto. Apenas um dos blocos, o edifício voltado para Portadores de Necessidades Especiais (PNE), e as edificações da área comum (salão de festa, guarita, casa de lixo, etc.) são em alvenaria estrutural com lajes moldadas em loco.

O prazo total da obra era de 18 meses, com término previsto para dezembro de 2018. No entanto, a equipe gerencial possuía como meta interna a finalização da obra em 16 meses. Assim, o término previsto internamente era outubro de 2018. Este prazo de 16 meses foi também a referência utilizada para a o planejamento de longo prazo e para a definição das metas de conclusão das principais atividades da obra.

Quanto à caracterização do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado nesta obra, a estrutura do mesmo será apresentada e discutida no capítulo seguinte (**Capítulo 5, Item 5.3.1.1**), como parte dos resultados.

O acompanhamento da obra pela pesquisadora, na etapa de estudo exploratório, iniciou-se na fase de finalização dos serviços de terraplenagem. O estudo exploratório se desenvolveu ao longo dos serviços de implantação do canteiro, fundações, execução das lajes térreo (lajão) e início da elevação da estrutura dos prédios.

#### **4.4.2 Entendimento do Sistema de PCP Adotado na Obra A**

Esta atividade teve como objetivo o conhecimento, por parte da pesquisadora, dos principais processos e protocolos adotados pela construtora da Obra A para o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Para tal, foram desenvolvidas as seguintes ações: (1) Conhecimento geral do empreendimento e do local da obra, por meio de uma visita no canteiro e voo inicial com VANT; (2) Conhecimento da estrutura geral da construtora e apresentação da pesquisa, por meio de um workshop com equipe da empresa e reunião para apresentação do desenvolvimento inicial do estudo; (3) Entrevistas estruturadas e reuniões para conhecimento do sistema de PCP da obra, realizadas com engenheiros responsáveis pela obra e engenheiros do setor de planejamento e controle; (4) Análise de documentos disponibilizados, relacionados à produção, planejamento e controle da obra; e (5) Acompanhamento de reuniões de planejamento e controle mensal (médio prazo), com participação da pesquisadora como ouvinte para análise dos processos de planejamento e avaliação mensal da produção realizados pela equipe gerencial da obra. Tais ações são detalhadas no Quadro 3, evidenciando as fontes de evidência utilizadas.

Como principal produto dessa atividade foi possível conhecer e estruturar o fluxo de informações e procedimentos adotados para o planejamento e controle da obra, referente à cada nível hierárquico do PCP (mapeamento do sistema de PCP). Além disso, o entendimento do sistema de PCP também possibilitou um certo direcionamento para os testes de ferramentas e processos preparatórios, de forma a ser possível a adaptação e aplicação sistemática do método proposto, juntamente com os procedimentos gerenciais já adotados pela empresa construtora.



Quadro 3 – Ações desenvolvidas e fontes de evidência para entendimento do sistema de PCP adotado na Obra A

<b>Ações desenvolvidas</b>	<b>Detalhamento das ações</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Conhecimento geral do empreendimento e do local da obra	<p>Duas visitas ao campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 27/06/2017 – Apresentação da obra por engenheiros responsáveis</li> <li>• 10/07/2017 – Levantamento visual do terreno com VANT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Mapeamento 3D do terreno</li> </ul>
Conhecimento da estrutura geral da construtora e apresentação da pesquisa	<p>Duas reuniões:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 21/07/2017 – Workshop com equipe da construtora para apresentação institucional da empresa e da proposta do estudo</li> <li>• 24/11/2017 – Reunião para apresentar e discutir o andamento inicial do estudo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Apresentações realizadas</li> <li>• Relatório inicial do estudo, elaborado para a empresa</li> </ul>
Entrevistas para conhecimento do processo de PCP adotado (processos da construtora e especificidades da obra)	<p>Quatro encontros para entrevistas e reuniões:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15/08/2017 – Entrevistas com eng. gerente e eng. analista de produção da obra</li> <li>• 26/09/2017 – Reunião com eng. gerente da obra para tirar dúvidas</li> <li>• 24/01/2018 – Entrevista com eng. analista de planejamento da obra</li> <li>• 23/02/2018 – Reunião com eng. analista de planejamento da obra para tirar dúvidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Protocolo de entrevistas para entendimento do PCP (roteiro estruturado para entrevista, desenvolvido pela autora), apresentado no <b>Apêndice 3</b></li> </ul>
Análise de documentos	Disponibilização, por parte da equipe gerencial da obra, de documentação para consulta pela pesquisadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentos: projetos, planilhas e protocolos</li> <li>• Análise participante dos documentos</li> </ul>
Acompanhamento das reuniões de planejamento e controle mensal (médio prazo)	<p>Acompanhamento de quatro reuniões:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 27/10/2017 – Reunião para medição de outubro e programação de novembro</li> <li>• 01/12/2017 – Reunião para medição de novembro e programação de dezembro</li> <li>• 01/02/2018 – Reunião para medição de janeiro e programação de fevereiro</li> <li>• 27/02/2018- Reunião para medição de fevereiro e programação de março</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Análise participante de documentos: planilhas de planejamento e controle da obra</li> </ul>

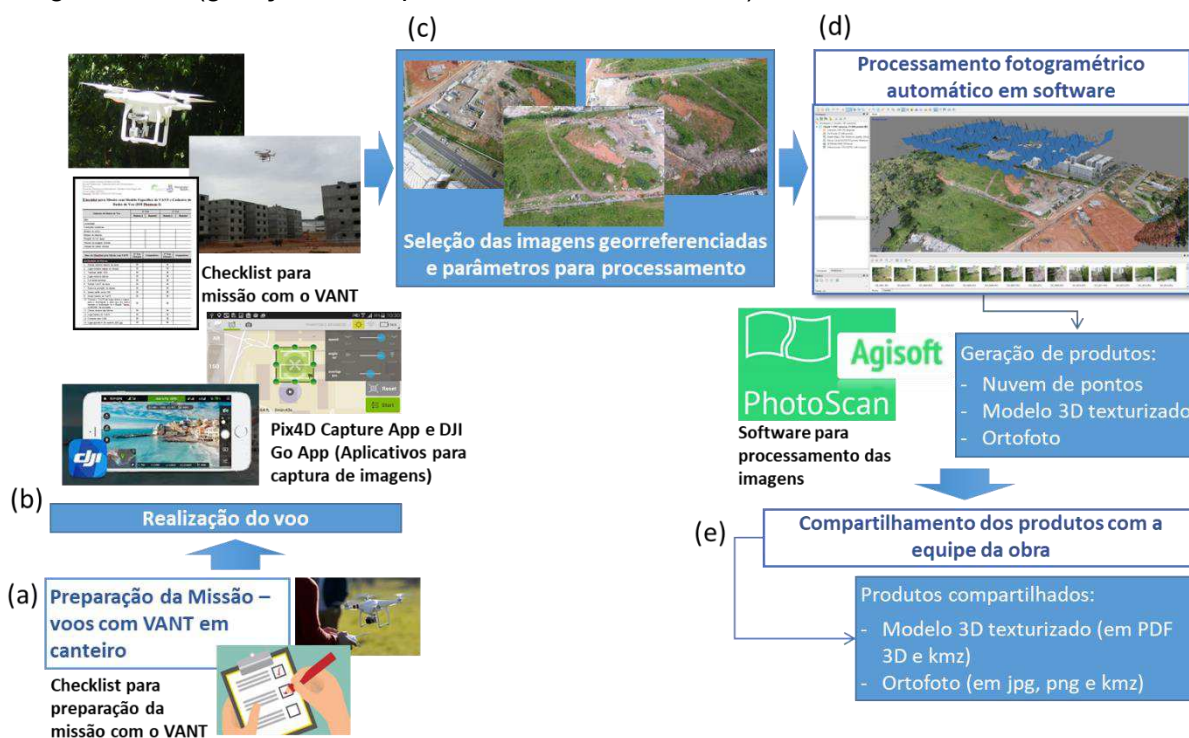
Fonte: Elaborado pela autora

#### **4.4.3 Testes de Ferramentas e Processos para Geração de Mapeamentos 3D Fotogramétricos do Canteiro com Uso de VANT**

A geração de mapeamentos 3D do canteiro com uso do VANT, neste estudo, teve por objetivo a captura e representação visual do estado atual da obra. Para tanto, visando testar as ferramentas e estruturar os processos envolvidos, foram realizados registros de imagens da Obra A com VANT e processamento fotogramétrico dessas

imagens, conforme o procedimento ilustrado na Figura 16 e detalhado em sequência. Tal procedimento foi definido com base na experiência da presente pesquisadora a partir estudos anteriores (ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018; BARBOSA *et al.*, 2017).

Figura 16 – Procedimento adotado para coleta de imagens com VANT e processamento fotogramétrico (geração de mapeamento 3D de canteiros)

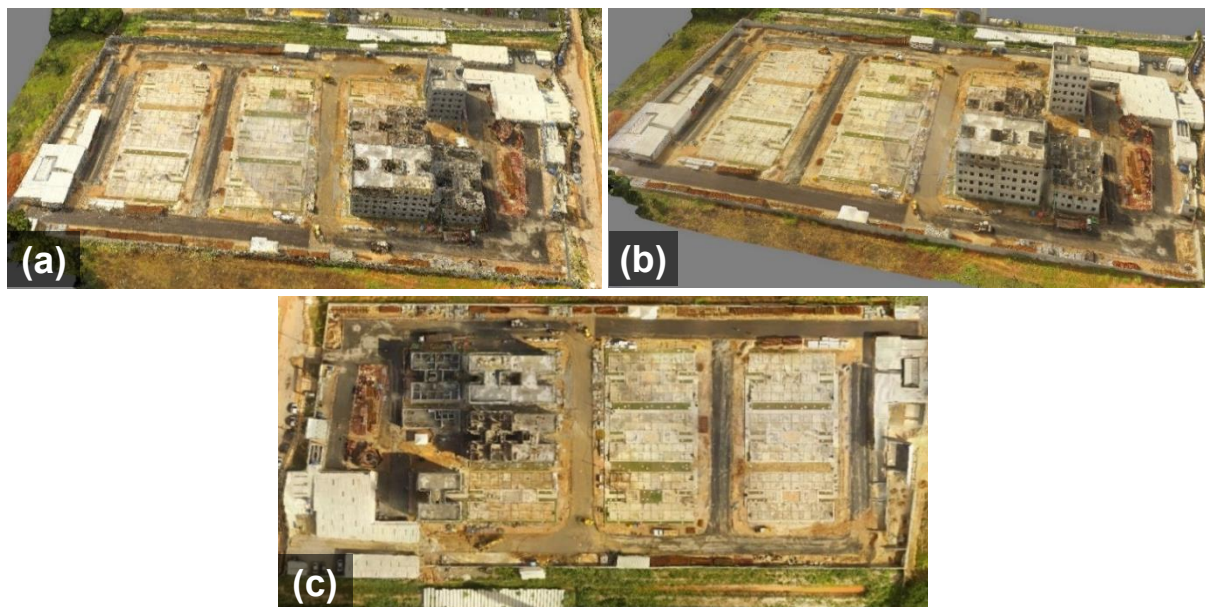


Fonte: Elaborado pela autora

- Preparação da missão com suporte de protocolo para programação do voo, incluindo análise dos objetivos de uso das imagens, das condições físicas do canteiro e das atividades de construção em execução, além de seleção dos parâmetros de voo e de registro das imagens;
- Registro de imagens do canteiro por meio de voos com VANT, seguindo o checklist para missão e utilizando os aplicativos de controle DJI Go (usado em voos manuais) e Pix4D Capture (usado para voos automatizados);
- Seleção das fotos que serão utilizadas no processamento fotogramétrico e seleção dos parâmetros de processamento no software PhotoScan;
- Processamento das imagens com uso do software PhotoScan e geração do mapeamento 3D do atual estado da obra, incluindo os produtos fotogramétricos de nuvem de pontos, ortofoto e modelo 3D texturizado. Exemplos de cada um desses produtos são apresentados na Figura 17;

- e) Compartilhamento com a equipe da obra dos produtos gerados, com apoio de sistemas online de armazenamento de arquivos em nuvem.

Figura 17 – Exemplo dos tipos de produtos fotogramétricos gerados no mapeamento 3D da Obra A: (a) Modelo de nuvem de pontos; (b) Modelo 3D texturizado; (c) Ortofoto



Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.4.3.1 Ferramentas Utilizadas para a Geração de Mapeamentos 3D com VANT

Para programação dos voos com VANT em canteiro foi elaborado um checklist preparatório, visando tornar esta atividade mais padronizada, garantir a eficiência e o atendimento aos objetivos da missão, além de atendimento aos critérios de segurança referentes à regulamentação para operação de VANTs no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC, 2017). Este checklist foi desenvolvido com base em etapas e parâmetros de preparação de voo apresentados por Barbosa *et al.* (2017), além de outros identificados pela pesquisadora como relevantes. O modelo do checklist pode ser observado no **Apêndice 1**.

Para a condução dos voos com o VANT em canteiro foi elaborado um checklist de missão, adaptado de Álvares (2016). Este checklist inclui o cadastro de dados técnicos do voo, além de roteiro para checagem dos procedimentos necessários para operação do VANT em condições adequadas de segurança. O modelo do checklist de missão pode ser encontrado no **Apêndice 2**.

A aeronave utilizada na etapa de estudo exploratório foi um VANT do tipo quadricoptero (aeronave de asas rotativas com quatro propulsores/hélices), modelo DJI Phantom 3 Advanced. Sua escolha esteve diretamente relacionada à utilização

de uma tecnologia mais acessível e comercial, com características que facilitam sua aquisição e operação em canteiros de obras. Como principais características técnicas deste equipamento, destacam-se sua boa estabilidade durante o voo; modalidade vertical de pouso e decolagem; o mesmo é relativamente leve e pequeno, pesando 1280 g; e possui baterias com autonomia média de 15 minutos de voo (DJI, 2017a), tendo sido utilizado um conjunto de três baterias no estudo. Este VANT é ainda operado por controle remoto e aplicativo de controle compatível (rodado em *tablet* ou *smartphone*), possui câmera acoplada com resolução de 12,4 MP e GPS, permitindo a captura de imagens georreferenciadas (DJI, 2017a).

Para operação e controle da aeronave foram utilizados os aplicativos móveis DJI Go, usado para controle manual da aeronave, e Pix4D Capture, usado para voos automatizados, ou seja, sem interferência direta do operador na missão, porém com a possibilidade de retomar o controle manual a qualquer momento durante o voo. O Pix4D Capture possibilita realizar voos automatizados a partir da programação prévia de parâmetros para coordenação autônoma da missão, incluindo seleção do trajeto percorrido pelo VANT, velocidade e altura de voo, angulação da câmera e taxa de sobreposição entre imagens.

Para processamento fotogramétrico das imagens e reconstrução 3D do canteiro, foi utilizado o software Agisoft PhotoScan. Tal escolha está associada a bons resultados obtidos quanto ao uso do PhotoScan em estudos prévios (ÁLVARES; COSTA; MELO, 2018), além de certa automatização e facilidade de uso do software. O PhotoScan realiza a conversão de imagens 2D georreferenciadas em produtos 3D (nuvem de pontos, modelos 3D texturizados, ortomosaicos e modelos digitais de superfície e terreno georreferenciados), por meio de processamento fotogramétrico automatizado, com alinhamento automático das fotografias, identificação de feições homólogas entre imagens e geração de nuvem de pontos (AGISOFT, 2017). Os produtos gerados são ainda customizáveis e compatíveis com outros softwares, podendo ser exportados em diferentes formatos.

#### 4.4.3.2 *Descrição dos Testes para Geração de Mapeamento 3D com VANT na Obra A*

No total foram realizadas 27 visitas na Obra A para testes de registro de imagens com VANT e mapeamento 3D do canteiro, com uma frequência inicialmente quinzenal e depois semanal. O Quadro 4 apresenta o resumo das informações dos voos com VANT realizados nessas visitas.

Quadro 4 – Dados das coletas de campo com VANT na Obra A realizadas na etapa de estudo exploratório

Período de visitas	Nº de visitas para voos	Modalidade dos voos	Média de fotos por visita	Duração média de voo por visita	Total de mapeamentos 3D
10/07/2017 a 29/03/2018	27	Automatizado ou automatizado e manual (missões combinadas)	258	00:19:59	27 modelos 3D texturizados e 27 ortofotos do canteiro

Fonte: Elaborado pela autora

Os dados gerados a partir destas 27 visitas (modelos 3D texturizados e ortofotos) foram disponibilizados à equipe gerencial da obra e utilizados, ainda que de maneira não sistematizada e integrada, no suporte ao acompanhamento visual das atividades e na elaboração de relatórios fotográficos. Além disso, esse período de estudo exploratório foi também importante para a familiarização da equipe da obra com as tecnologias, rotina de coleta de dados e produtos gerados no mapeamento 3D.

A partir do teste das tecnologias e da rotina para coleta de imagens com VANT em canteiro e processamento fotogramétrico, os seguintes produtos de suporte à estruturação da proposta preliminar do método foram obtidos:

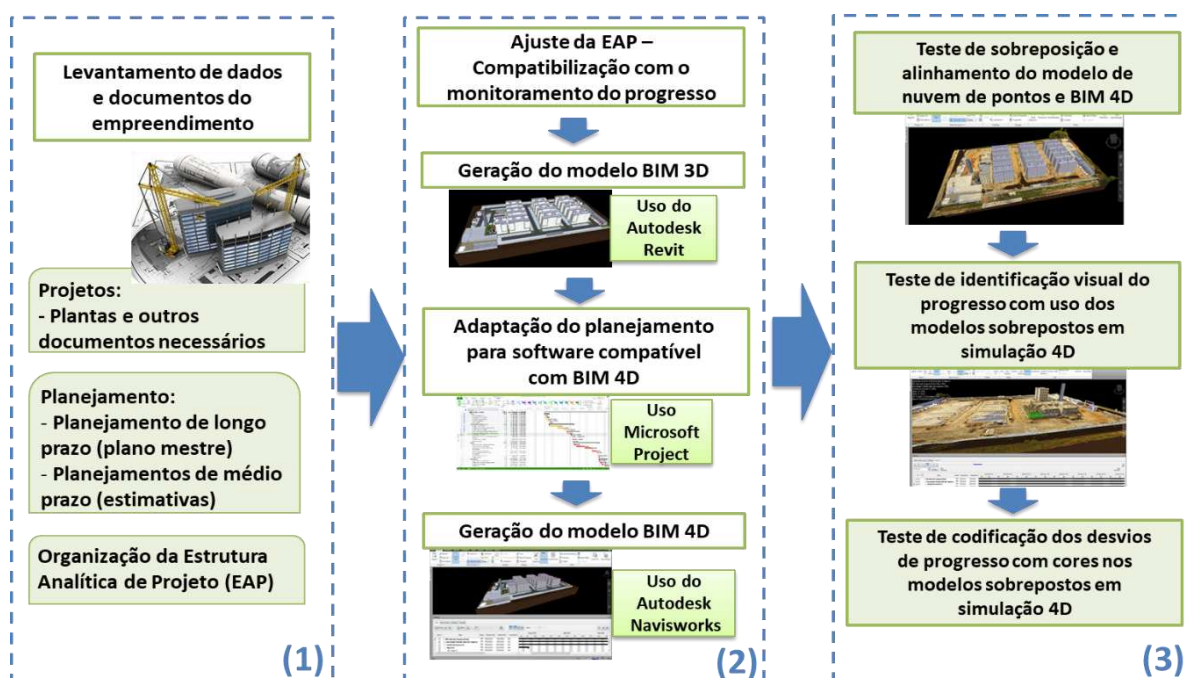
- definição dos cuidados necessários e do procedimento para coleta de imagens com VANT em canteiro e geração de mapeamentos 3D, visando nuvens de pontos sem falhas de reconstrução e inconsistências visuais;
- estudo e definição das modalidades e parâmetros do voo ideais para o contexto do canteiro estudado e compatíveis com o propósito de captura;
- aprimoramento de um protocolo de voo e desenvolvimento de protocolo para preparação de missão com VANT em canteiros de obras (checklists);
- definição dos parâmetros para processamento das imagens no software PhotoScan, em função do tempo médio de processamento e qualidade de visualização das informações (nível de visibilidade requerido ao modelo de nuvem de pontos, relacionado à densidade de pontos do modelo).

#### **4.4.4 Testes de Ferramentas e Processos para Geração de Modelo BIM 4D e Sobreposição com Nuvem de Pontos**

Inicialmente foi identificado que a Obra A não possuía modelo BIM do projeto, nem o planejamento de longo prazo em formatação compatível à modelagem BIM 4D.

Por isso, foi necessário entender o projeto e a maneira como era feita a execução e medição para controle de cada um dos principais serviços, para que fosse gerado um modelo BIM 3D compatível com o propósito de uso, e, então, geração do modelo BIM 4D e realização dos testes ligados à análise visual do progresso por sobreposição com modelo de nuvem de pontos. A Figura 18 ilustra os principais processos realizados nesta fase de testes e preparações, ligados às atividades de: (1) levantamento de dados de suporte; (2) Geração dos modelos BIM; (3) Testes ligados à sobreposição do modelo de nuvem de pontos com o modelo BIM 4D.

Figura 18 - Processos para geração dos modelos BIM da Obra A e testes de sobreposição da nuvem de pontos ao BIM 4D



Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.4.4.1 Ferramentas Utilizadas para Geração de Modelo BIM 4D e Sobreposição com Nuvem de Pontos

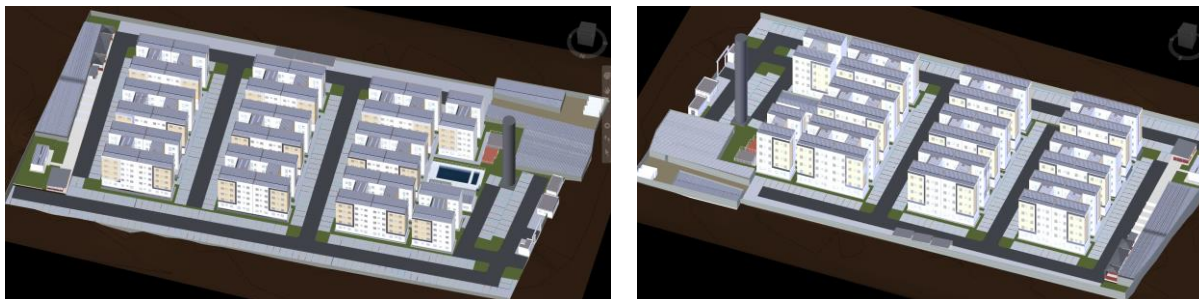
Entre as ferramentas utilizadas nessa fase de testes e processos práticos preparatórios, destaca-se o software Autodesk Revit. O Revit é um software BIM que permite o desenvolvimento de projetos com base em modelos paramétricos tridimensionais interoperáveis, integrando principalmente as disciplinas de arquitetura, estrutura e instalações prediais (AUTODESK, 2018b). Outro software também utilizado foi o Autodesk Navisworks. O Navisworks possibilita o desenvolvimento de modelos BIM 4D do empreendimento, pela simulação e análise da construção a partir da integração do cronograma com o modelo BIM 3D (AUTODESK, 2018a).

Um outro software utilizado foi o Microsoft Project. O Project é um software voltado para programação de atividades e gerenciamento de projetos, com base na lógica das técnicas de planejamento com uso de redes (MICROSOFT, 2018b). O Project possibilita a visualização do cronograma em linhas do tempo, no formato de gráfico de barras, e também a geração de relatórios com diferentes tipos de gráficos para representação de índices do projeto (MICROSOFT, 2018b).

#### 4.4.4.2 Descrição dos Testes para Geração de Modelo BIM 4D e Sobreposição com Nuvem de Pontos na Obra A

A atividade inicialmente realizada de levantamento de dados de suporte, como apresentado anteriormente na Figura 18, incluiu o levantamento e análise de documentos de planejamento, controle, orçamento, projetos e organização da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) da Obra A. Com base nesses dados de suporte, o modelo BIM 3D da Obra A (ilustrado na Figura 19) foi elaborado com uso do software Revit, por equipe de pesquisadores do Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)<sup>4</sup>, a qual a presente autora faz parte.

Figura 19 – Imagens do modelo BIM 3D da Obra A



Fonte: Elaborado por equipe de pesquisadores do GETEC<sup>4</sup>

Além disso, identificou-se também a necessidade de ajustar a EAP do projeto, utilizada como uma das referências para a modelagem BIM, em função do propósito de uso do modelo 4D para suporte ao monitoramento do progresso. A partir dessa reestruturação da EAP e da referência do planejamento de longo prazo da obra, foi também adaptado o planejamento para formato digital compatível com a modelagem BIM 4D, com uso da ferramenta Microsoft Project. Em seguida, foi gerado o modelo BIM 4D no software Navisworks, a partir da associação das atividades do planejamento aos elementos físicos do modelo BIM 3D.

---

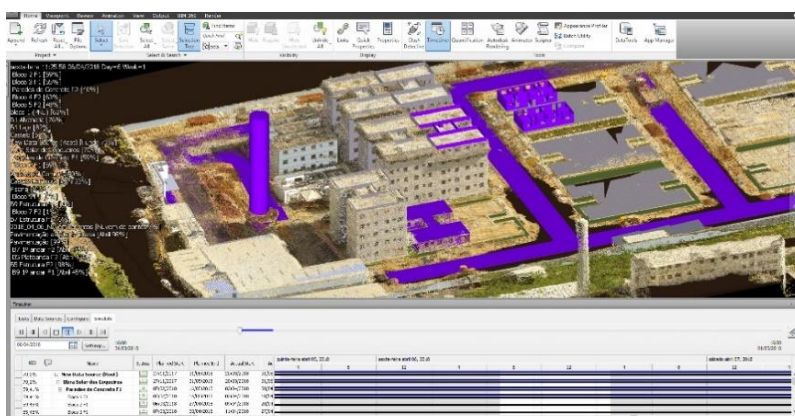
<sup>4</sup> Equipe de pesquisadores do grupo GETEC envolvida na modelagem BIM 3D do Empreendimento A: Juliana Álvares, Amanda Barbosa e Bruno Falcón.

Tanto o modelo BIM 3D, quanto o modelo 4D da Obra A foram desenvolvidos visando o atendimento das necessidades de visualização para uso no monitoramento do progresso das atividades externas às edificações, sendo os elementos ligados a estas atividades, os mais bem detalhados na modelagem BIM. No entanto, em vista ao uso do modelo BIM 4D também para o suporte à análise visual do planejamento e comunicação de indicadores visuais de progresso da obra como um todo, optou-se também por modelar elementos das principais atividades internas, cuja medição do progresso, segundo o método proposto, é baseada em medições físicas em canteiro.

Em relação aos testes de sobreposição do modelo de nuvem de pontos ao BIM, foi realizada a sobreposição e alinhamento dos modelos, de forma a ser possível a identificação visual do progresso planejado (modelo BIM 4D) em confronto com o progresso real da obra (nuvem de pontos). Para tal, a nuvem de pontos exportada do PhotoScan foi importada para o modelo BIM 4D no Navisworks. Na plataforma Navisworks, a nuvem de pontos foi alinhada ao modelo BIM e inserida como uma atividade na *timeline*, para sua visualização na simulação 4D.

A partir da comparação visual dos modelos sobrepostos em simulação 4D, foi testada a possibilidade e os melhores meios para identificação do status de progresso das atividades externas, classificadas como atrasada, adiantada, ou de acordo com o planejamento. A Figura 20 apresenta exemplo dos modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM) em simulação 4D, na plataforma Navisworks.

Figura 20 – Exemplo de modelos sobrepostos da Obra A (nuvem de pontos e BIM 4D)



Nota: Os elementos do modelo BIM destacados em roxo na simulação 4D representam as atividades planejadas para execução na data analisada.

Fonte: Elaborado pela autora

Por fim, foram também testadas as possibilidades de criação de identificações visuais dos desvios de progresso na simulação 4D, com uso da plataforma



Navisworks. Nesse sentido, foram testadas regras para codificação do modelo 4D com indicadores de cores, de forma a facilitar a identificação visual do status da obra.

A partir dos processos desenvolvidos, apresentados nesta seção, obteve-se os seguintes produtos de suporte à estruturação da proposta preliminar do método, além dos produtos concretos desenvolvidos (modelos BIM 3D e 4D da Obra A):

- nível de detalhamento requerido à Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para uso no monitoramento visual do progresso;
- nível de desenvolvimento (LOD) requerido ao modelo BIM 3D, de forma que atenda às necessidades de uso para monitoramento visual do progresso;
- procedimento para sobreposição e alinhamento da nuvem de pontos com o modelo BIM 4D usando a ferramenta Navisworks;
- procedimento para codificação do modelo sobreposto com cores para comunicação visual do progresso, com uso da ferramenta Navisworks.

#### 4.5 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO – ESTUDOS DE CASO

Esta etapa de pesquisa consiste na estruturação e refinamento do escopo do método proposto, a partir de sua implementação e avaliação em estudos de caso. Como ponto inicial para desenvolvimento desta etapa, as implementações tiveram como principal referência a proposta preliminar do método, idealizada a partir da etapa de sugestão do artefato com suporte do estudo exploratório.

Para as implementações, a estrutura do método proposto foi ajustada para o contexto de cada estudo de caso, buscando a elaboração de sistemáticas integradas aos procedimentos e fluxos gerenciais das obras, incluindo coleta, processamento, análise, entrega e discussão de dados e produtos relacionados ao progresso da construção. Estas sistemáticas têm como principal base de informações os produtos visuais (imagens aéreas, mapeamentos 3D, modelos BIM 4D e modelos sobrepostos – BIM e nuvem de pontos) e também dados não visuais complementares, destacando a medição de indicadores de desempenho, geração de relatórios e planilhas de dados.

A estrutura de implementação do método proposto em cada estudo de caso foi realizada conforme as seguintes etapas:

- 1) entendimento do sistema de PCP e dos procedimentos gerenciais para monitoramento do progresso da obra já adotados pela empresa;

- 2) adaptação da estrutura preliminar do método ao contexto da obra estudada;
- 3) aplicação da estrutura adaptada do método no estudo de caso, em ciclos ligados ao planejamento e controle de médio prazo e de curto prazo;
- 4) entrevistas com os membros das equipes gerenciais das obras que estiveram envolvidos nos estudos, com intuito de registrar percepções a respeito do método e do seu processo de implementação.

Neste trabalho foram realizados dois estudos de caso para implementação e avaliação do método. Apesar de seguirem a mesma estrutura de desenvolvimento, os estudos de caso tiveram características distintas, porém complementares.

O Estudo de Caso 1 foi realizado em uma obra de um condomínio residencial de prédios, e teve um perfil bastante intervencionista, com maior incorporação e aderência da obra aos processos proposto pelo método e com participação mais ativa da pesquisadora e da equipe da obra. O Estudo de Caso 2 foi realizado em um condomínio de loteamentos para casas de praia, focado na construção da infraestrutura comum do condomínio. O perfil do Estudo 2 foi menos intervencionista e mais observacional, no qual foram adotados pela obra apenas alguns dos processos propostos pelo método e a pesquisadora participou de forma menos ativa.

A seguir são detalhadas as etapas adotadas para implementação do método em cada estudo de caso, além da caracterização da obra do Estudo 2 (Obra B).

#### **4.5.1 Implementação do Método Proposto no Estudo de Caso 1**

O Estudo de Caso 1 foi desenvolvido na mesma obra do estudo exploratório (Obra A). No entanto, o Estudo 1 esteve ligado a novas etapas de produção da obra, com início associado ao serviço de elevação da estrutura em parede de concreto.

A implementação efetiva do método proposto na Obra A teve início em abril de 2018 e foi até setembro de 2018. As atividades desenvolvidas nesse período serão apresentadas e caracterizadas ao longo desta seção.

Como a obra do Estudo de Caso 1 é a mesma do estudo exploratório, a etapa de entendimento do sistema de PCP e procedimentos gerenciais adotados pela empresa, já foi realizada anteriormente, bem como a preparação dos modelos de referência (modelos BIM, EAP ajustada e planejamento no Project). Dessa maneira, na implementação do método no Estudo 1 foram apenas adaptados alguns pontos relativos à sua estrutura preliminar, apresentados a seguir.

#### 4.5.1.1 Adaptação da Estrutura Preliminar do Método para o Estudo de Caso 1

Durante a preparação para a implementação do método no Estudo de Caso 1, observou-se a necessidade dos seguintes ajustes:

- Ajuste dos processos sugeridos para as rotinas dos ciclos de implementação: a estrutura preliminar do método é composta por um fluxo de processos sugeridos à implementação, ligados aos níveis de planejamento e controle de longo, médio e curto prazo. Para a implementação no Estudo 1, esses processos sugeridos foram filtrados e ajustados, considerando o perfil gerencial da Obra A e as necessidades e interesses motivados pelos gestores da obra.
- Ajustes dos protocolos para apoio às coletas de dados mensais e semanais: tanto o modelo da planilha para apoio à coleta de dados mensais do planejamento e controle, quanto a de coleta dos dados semanais, propostas na estrutura preliminar do método, sofreram alguns ajustes, visando melhor adequação ao perfil do sistema de PCP da obra. Exemplos das planilhas adaptadas para o Estudo 1 encontram-se nos **Apêndices 5 e 6**.
- Características e formato de apresentação do relatório mensal de progresso: as informações do relatório mensal de progresso, enviado à equipe gerencial da obra, foram formatadas em função da necessidade de informação da Obra A. Os relatórios do Estudo de Caso 1 foram desenvolvidos em Excel, no formato A3. Exemplo de relatório do Estudo 1 é apresentado no **Apêndice 7**.
- Tipo de interação da equipe gerencial da obra com as simulações 4D: as simulações 4D do Estudo 1 foram totalmente desenvolvidas pela pesquisadora, sendo usadas pela equipe da Obra A apenas em nível de visualização. A visualização se deu por vídeos gerados das simulações 4D e uso da versão gratuita do Navisworks para visualização de modelos (Navisworks Freedom).

A versão da estrutura do método adaptado ao Estudo de Caso 1 é apresentada no **Item 5.3.1.2** do capítulo de resultados (**Capítulo 5**). No **Item 5.3.1.2** é especificado o fluxo de processos adotado nos ciclos de implementação, os indicadores de desempenho medidos, informações geradas e compartilhadas, e os níveis de interação da equipe gerencial da obra com os processos e produtos do método implementados.

#### 4.5.1.2 Aplicação da Estrutura Adaptada do Método no Estudo de Caso 1

O desenvolvimento dos ciclos de implementação do método proposto no Estudo 1 ocorreu de abril a agosto de 2018. Durante esse período foram desenvolvidos 5 ciclos mensais de implementação, ligados ao planejamento e controle de médio prazo, e 21 ciclos semanais ligados ao curto prazo. Nos ciclos mensais de implementação no Estudo 1 foram realizadas as seguintes atividades pela pesquisadora:

- participação nas reuniões de planejamento e controle de médio prazo, realizadas mensalmente pela equipe gerencial da obra;
- atualização do modelo BIM 4D referente à programação do médio prazo;
- preparação dos modelos sobrepostos (BIM 4D e nuvens de pontos), com análise visual do progresso e codificação dos desvios com indicadores de cores na simulação 4D;
- cálculo de indicadores de desempenho e levantamento das causas de desvios negativos de progresso;
- auxílio na avaliação mensal do progresso da obra com base nas informações dos modelos visuais, indicadores e causas de desvios.

As atividades realizadas pela pesquisadora nos ciclos semanais de implementação do método no Estudo de Caso 1 foram:

- voos com VANT para registro de imagens do atual estado do canteiro ao final de cada semana;
- participação nas reuniões de planejamento de curto prazo, dando suporte direto à programação semanal das atividades;
- auxílio na medição e controle semanal da produção, realizada com apoio da equipe de coordenação direta da produção em campo, e apoio visual das imagens do canteiro registradas com VANT;
- processamento fotogramétrico das imagens registradas com VANT e geração dos produtos do mapeamento 3D semanal do canteiro.

Dentre os produtos gerados e entregues à equipe gerencial da obra, durante os ciclos de implementação no Estudo de Caso 1, pode-se destacar:

- modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês, em formato de vídeo e arquivo *.nwd* para uso no Navisworks Freedom;

- planilhas com dados mensais e semanais do planejamento e controle da produção (planilha do médio prazo e planilha do curto prazo);
- imagens registradas semanalmente com o VANT e produtos fotogramétricos semanais do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto);
- modelo sobreposto do médio prazo (nuvens de pontos semanais e BIM 4D do mês), e modelo 4D do longo prazo atualizado com sobreposição da última nuvem de pontos do mês, ambos com desvios de progresso codificados por cores em simulação 4D;
- planilha com memorial de cálculo dos indicadores de desempenho;
- relatórios mensais de progresso em formato A3, com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso.

O principal meio de comunicação e entrega destes produtos à equipe gerencial da obra, foi uma conta compartilhado no Dropbox e comunicações via e-mail.

O Quadro 5 apresenta o resumo da caracterização das principais atividades desenvolvidas ao longo do período de implementação do método no Estudo de Caso 1. O detalhamento desses dados, apresentados por ciclo mensal desenvolvido, é apresentado no **Apêndice 9**.

Quadro 5 – Resumo de dados das atividades desenvolvidas durante a implementação do método proposto no Estudo de Caso 1

(Continua)

<b>Atividade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Equipe da obra envolvida</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Reuniões para planejamento de médio prazo	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês</li> </ul>
Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> <li>• Auxiliares de Engenharia</li> <li>• Estagiária de Engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com VANT</li> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência)</li> </ul>

Quadro 5 – Resumo de dados das atividades desenvolvidas durante a implementação do método proposto no Estudo de Caso 1

(Conclusão)

<b>Atividade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Equipe da obra envolvida</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Reuniões para controle da produção mensal com análise preliminar dos indicadores e modelo sobreposto	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> <li>• Estagiária de Engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Memorial de cálculo com indicadores preliminares</li> <li>• Versão preliminar do modelo sobreposto do médio prazo</li> </ul>
Entregas de relatórios de progresso mensal com os dados finais dos indicadores e versões finais dos modelos sobrepostos com indicadores de cores	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral da obra</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Relatório mensal de progresso</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo com indicadores de cores em simulação 4D</li> <li>• Modelo 4D do longo prazo com sobreposição da última nuvem de pontos do mês e indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>
Reunião com setor de planejamento para análise dos indicadores e causas de desvios	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Memoriais de cálculo dos indicadores</li> </ul>
Apresentações dos resultados à alta gerencia, referentes aos meses de implementação	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretor Regional de Produção</li> <li>• Gestor das Obras Regionais</li> <li>• Coordenador Geral da Obra</li> <li>• Coordenador de Planejamento e Controle</li> <li>• Coordenadora de Qualidade</li> <li>• Coordenador de HSST</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Apresentações realizadas</li> <li>• Relatórios do estudo entregues à equipe da construtora</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.5.1.3 Entrevistas para Análise de Percepções sobre o Método Proposto e Processo de Implementação no Estudo de Caso 1

A etapa de entrevistas no Estudo de Caso 1 foi realizada em setembro de 2018. As entrevistas tiveram por objetivo registrar e avaliar a percepção da equipe da obra em relação ao método proposto e ao seu processo de implementação na Obra A. Para tal, foram entrevistados membros da equipe gerencial que estiveram diretamente ligados ao desenvolvimento do Estudo 1, conforme caracterizados no Quadro 6.

Quadro 6 - Caracterização da equipe gerencial da Obra A entrevistada no Estudo de Caso 1

Função/ cargo	Tempo de experiência na construção civil	Nível gerencial de atuação	Código de identificação na entrevista	Data da entrevista	Duração da entrevista
Coordenador da Obra	18 anos	Média gerência	CO1	17/09/2018	01:00 h
Gerente da Obra	10 anos	Gerência geral da obra	GO1	10/09/2018	00:45 h
Analista de Produção	4 anos e 10 meses		AP1	10/09/2018	00:35 h
Analista de Planejamento	2 anos e 3 meses		APL1	11/09/2018	00:40 h
Analista de Controle	8 anos		AC1	10/09/2018	01:00 h
Estagiária de Engenharia	1 anos e 9 meses	Coordenação direta da produção	EE1	10/09/2018	00:20 h
Auxiliar de Engenharia	6 anos		AE1	10/09/2018	00:15 h

Fonte: Elaborado pela autora

Para desenvolvimento das entrevistas foi elaborado um protocolo estruturado, que possui questões organizadas em seções de acordo com os constructos de pesquisa definidos: **Impacto na identificação e avaliação do progresso, Transparência, Colaboração, Utilidade do método e Facilidade de adoção e integração do método** (tais constructos serão devidamente apresentados e caracterizados no **Item 4.6** deste capítulo). Dessa forma, foram elaboradas questões para avaliação da percepção dos entrevistados quanto ao **impacto** da implementação do método na identificação, avaliação e mitigação de **desvios de progresso**; aumento da **transparência** nos processos gerenciais relacionados ao monitoramento do progresso; aumento da **colaboração** entre intervenientes em tais processos; aspectos relacionados à avaliação da **utilidade do método proposto**; e ainda a avaliação da **facilidade de adoção e integração do método** aos processos de planejamento e controle da obra. Para cada uma dessas avaliações, relacionadas à cada um desses constructos, foram desenvolvidas questões de dois tipos:

- 1) Questões objetivas qualitativas (escala de impacto): elaboradas para avaliar do grau de impacto de processos e produtos do método proposto, em relação às principais variáveis de pesquisa associadas a cada constructo (tais variáveis também serão apresentadas no **Item 4.6** deste capítulo). Nessas

questões foi usada uma escala de impacto com três níveis: baixo, médio e alto impacto.

- 2) Questões subjetivas: complementares à avaliação objetiva das variáveis de pesquisa. Para cada constructo avaliado foram elaboradas questões subjetivas, de maneira que o entrevistado pudesse detalhar melhor alguns pontos e expressar as razões que o levou aos níveis de impacto atribuídos nas questões objetivas.

O protocolo completo de entrevistas para avaliação do método é apresentado no **Apêndice 4**. Nem todos os entrevistados responderam esta versão completa. As questões foram ajustadas e filtradas em função do nível gerencial de atuação do entrevistado, e do nível de interação do mesmo com os produtos e processos do método aplicados na obra.

Para avaliação dos resultados gerais de cada questão objetiva, foram considerados os níveis de impacto atribuídos por cada respondente à cada um dos itens da questão. Em seguida, foi realizada uma média por entrevistado para análise do nível de impacto geral avaliado por questão.

#### 4.5.2 Caracterização Geral da Obra B

O Estudo de Caso 2 foi realizado em um empreendimento de loteamentos, denominada neste trabalho de Obra B. A Obra B corresponde à construção de toda a área comum e infraestrutura de um condomínio de lotes para casas de praia, localizado em Sauípe, no litoral norte da Bahia (distrito do município de Mata de São João). O terreno da Obra B (Figura 21) tem 486.212,18 m<sup>2</sup> de área total, possuindo 262 lotes com tamanhos que variam de 450 a 963 m<sup>2</sup>.

Figura 21 – Obra B: (a) Ilustração do empreendimento em planta; (b) Ortofoto do canteiro no dia 13/12/2018



Fonte: (a) Empresa construtora da Obra B; (b) Elaborado pela autora



Os principais serviços realizados na Obra B incluem terraplenagem, construção das redes enterradas para distribuição de água, esgoto, elétrica, gás, etc., pavimentação das vias, paisagismo, e ainda construção das edificações da área comum do condomínio, como clube, áreas de lazer, píer, guarita, abrigos das subestações e estação elevatória, casas de gás, de lixo, entre outros.

O prazo total da obra era de 15 meses, com término previsto para julho de 2019. No entanto, a equipe gerencial possuía como meta interna a finalização da obra em 13 meses. Assim, o término previsto internamente era maio de 2019. Este prazo de 13 meses foi também a referência utilizada para o planejamento de longo prazo e para a definição das metas de conclusão das principais atividades da obra.

Quanto à caracterização do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na Obra B, a estrutura do mesmo será apresentada e discutida no capítulo seguinte (**Capítulo 5, Item 5.3.2.1**), como parte dos resultados.

O acompanhamento da obra pela pesquisadora iniciou-se na fase de execução das redes enterradas e dos serviços de pavimentação. O Estudo de Caso 2 se desenvolveu ao longo da finalização das redes, execução da pavimentação, paisagismo e construção das edificações do clube, subestações e estação elevatória.

#### **4.5.3 Implementação do Método Proposto no Estudo de Caso 2**

A implementação do método proposto na Obra B teve início em outubro de 2018 e foi até fevereiro de 2019. As atividades desenvolvidas nesse período, relacionadas às etapas de entendimento do sistema de PCP, adaptações, ciclos de implementação e entrevistas, serão apresentadas ao longo desta seção.

##### *4.5.3.1 Entendimento do Sistema de PCP Adotado na Obra B*

Para introdução do Estudo 2 e conhecimento do sistema de o Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na Obra B, foram desenvolvidas as seguintes ações: (1) Apresentação do estudo para a construtora, por meio de um seminário com coordenadores da empresa; (2) Conhecimento geral do empreendimento, da estrutura geral da construtora e do local da obra, pela realização de visita ao canteiro com apresentação institucional da empresa e apresentação do empreendimento por coordenadores responsáveis; (3) Entrevistas estruturadas e reuniões para conhecimento do sistema de PCP, realizadas com engenheiros responsáveis pela

obra e coordenadora e estagiário do setor de planejamento e controle; (4) Análise de documentos disponibilizados, relacionados à produção, planejamento e controle. Tais ações são detalhadas no Quadro 7, evidenciando as fontes de evidência utilizadas.

Quadro 7 – Ações desenvolvidas e fontes de evidência para entendimento do sistema de PCP adotado na Obra B

<b>Ações desenvolvidas</b>	<b>Detalhamento das ações</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Apresentação do estudo para a construtora	Um seminário: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15/06/2018 – Seminário com coordenadores da construtora para apresentação da proposta do estudo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Apresentação realizada</li> </ul>
Conhecimento geral do empreendimento, da estrutura geral da construtora e do local da obra	Visita à obra: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16/10/2018 – Reunião na obra com coordenadores para apresentação institucional e do empreendimento, além de visita ao canteiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Apresentações realizadas</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> </ul>
Entrevistas para conhecimento do processo de PCP adotado (processos da construtora e especificidades da obra)	Quatro encontros para entrevistas e reuniões: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25/10/2018 – Entrevistas com coordenadora e estagiário de planejamento da obra</li> <li>• 01/11/2018 – Reunião com Eng. responsável e estagiária do setor de engenharia</li> <li>• 21/11/2018 – Reunião para tirar dúvidas com coordenadora de planejamento e Eng. responsável pela engenharia da obra</li> <li>• 13/12/2018 – Reunião com gerente de produção para melhor entendimento do planejamento e controle de curto prazo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Protocolo de entrevistas para entendimento do PCP (roteiro estruturado para entrevista, desenvolvido pela autora), apresentado no <b>Apêndice 3</b></li> </ul>
Análise de documentos	Disponibilização, por parte da equipe gerencial da obra, de documentação para consulta pela pesquisadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentos: projetos, planilhas e arquivo do planejamento no Project</li> <li>• Análise participante dos documentos</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

Como principal resultado dessa etapa, o conhecimento do fluxo de informações e procedimentos adotados para o planejamento e controle da Obra B possibilitou um direcionamento para as etapas de adaptação e implementação do método nessa obra.

#### 4.5.3.2 Adaptação da Estrutura do Método para o Estudo de Caso 2

A etapa de adaptações foi principalmente desenvolvida ao longo do mês de novembro de 2019. Esta constou não somente com a adaptação de elementos e

processos do método proposto ao contexto da Obra B, mas também com o desenvolvimento de processos práticos preparatórios à sua implementação.

O primeiro processo prático preparatório desenvolvido foi a definição das modalidades e parâmetros do voo com VANT no canteiro da Obra B, e dos parâmetros para processamento das imagens no software Agisoft PhotoScan. Tais definições levaram em conta as características físicas do canteiro, o propósito das imagens registradas e a finalidade de uso dos modelos de nuvem de pontos gerados. Para tal, foram realizados 2 voos e mapeamentos 3D testes na Obra B, seguindo os mesmos protocolos e procedimento adotado no estudo da Obra A (Figura 16 – página 69). O Quadro 8 apresenta o resumo dos dados dessas duas visitas.

Quadro 8 – Dados dos testes de coletas de campo com VANT e processamento de imagens do canteiro da Obra B

<b>Datas das visitas</b>	<b>Modalidade dos voos</b>	<b>Média de fotos por visita</b>	<b>Duração média de voo por visita</b>	<b>Total de mapeamentos 3D</b>
01/11/2018 e 21/11/2018	Manual	344	00:31:37	2 modelos 3D texturizados e 2 ortofotos do canteiro

Fonte: Elaborado pela autora

Como particularidades desse estudo, os voos realizados na Obra B foram manuais, com uso apenas do aplicativo de controle DJI Go. Isso se deve porque o local da obra não estava atualizado na base de dados do mapa do aplicativo Pix4D Capture, usado para voos automatizados.

Além disso, outra diferença em relação ao Estudo de Caso 1, foi que no Estudo de Caso 2 foi utilizada uma aeronave do modelo DJI Phantom 4 Advanced. Como diferenças ao modelo Phantom 3, o DJI Phantom 4 possui sensores frontais de presença, sensor de velocidade de vento, ele mais pesado que o Phantom 3, pesando 1368 g, suas baterias possuem maior autonomia, com média de 22 minutos de voo, e sua câmera tem resolução de 20 MP e grava vídeos em 4K (DJI, 2017b).

O segundo processo prático preparatório desenvolvido foi a geração dos modelos BIM do projeto. Assim como no caso da Obra A, a Obra B também não possuía os projetos em BIM. No entanto, o arquivo do planejamento já estava em formato compatível com a modelagem BIM 4D, e a EAP utilizada já estava compatibilizada em relação à forma de divisão do trabalho adotada tanto no planejamento, quanto na medição da produção para controle.

Para desenvolvimento do modelo BIM da Obra B, também foi necessário o levantamento e análise de documentos de suporte, incluindo arquivos de projetos e de planejamento e controle. Além disso, como este estudo teria curto tempo de implementação, optou-se por modelagem apenas das atividades e elementos da obra mais representativos para o monitoramento do progresso com apoio visual.

Dessa maneira, foi desenvolvido o modelo BIM 3D da Obra B (ilustrado na Figura 22) com foco na modelagem do terreno, camadas de pavimentação das vias e das áreas de estacionamento, paisagismo, e alguns elementos das áreas de lazer, como píer, pistas de *cooper* e quadras. O modelo BIM do Empreendimento B também foi elaborado por equipe de pesquisadores do Grupo GETEC<sup>5</sup>, a qual a presente autora faz parte, com uso do software Revit.

Figura 22 – Imagem do modelo BIM 3D da Obra B



Fonte: Elaborado por equipe de pesquisadores do GETEC<sup>5</sup>

Para desenvolvimento do modelo 4D da Obra B foi feita a integração do modelo BIM 3D desenvolvido, com as atividades correspondentes do arquivo de planejamento disponibilizado pela equipe gerencial da obra (arquivo do Microsoft Project), utilizando o software Autodesk Navisworks.

Em relação às adaptações do método proposto ao contexto da Obra B, observou-se a necessidade dos seguintes ajustes:

- Ajuste dos processos sugeridos para as rotinas dos ciclos de implementação: assim como no Estudo de Caso 1, para o Estudo 2 também foi necessário filtro e adaptação do fluxo de processos sugeridos na proposta preliminar do método. Tal adaptação levou em consideração o perfil gerencial da Obra B,

---

<sup>5</sup> Equipe de pesquisadores do grupo GETEC envolvida na modelagem BIM 3D do Empreendimento B: Juliana Álvares e Gustavo Cunha.

as necessidades e interesses motivados pelos gestores da obra e, principalmente, o caráter menos intervencionista desta implementação.

- Protocolos para apoio às coletas de dados mensais e semanais: nesse estudo não houve utilização de protocolos propostos para apoio à coleta de dados do planejamento e controle da produção. A empresa já possuía os próprios protocolos e a pesquisadora, ao longo do estudo, já recebia os dados do planejamento e controle da obra em arquivo padrão da empresa, sem nenhuma interferência na sua elaboração.
- Características e formato de apresentação do relatório de progresso: visando o acesso mais fácil da equipe gerencial da obra aos dados visuais de progresso, foi adotado no Estudo 2 um formato de relatório diferente daquele usado no Estudo 1. Foi elaborado um modelo de relatório visual do progresso, atualizado e entregue quinzenalmente, em formato de apresentação de slides. Este formato teve por objetivo a junção das ortofotos, imagens do modelo BIM 4D, dados dos indicadores e vídeos das simulações 4D em um único arquivo. Exemplo de relatório do Estudo 2 pode ser observado no **Apêndice 8**.
- Tipo de interação da equipe gerencial da obra com as simulações 4D: assim como no Estudo de caso 1, as simulações 4D geradas no Estudo de Caso 2 foram totalmente desenvolvidas pela pesquisadora, sendo usadas pela equipe gerencial da Obra B apenas em nível de visualização. A visualização se deu apenas por meio de vídeos gerados das simulações 4D.

A versão da estrutura do método adaptada ao Estudo de Caso 2 é apresentada e detalhada no **Item 5.3.2.2** do capítulo de resultados (**Capítulo 5**).

#### *4.5.3.3 Aplicação da Estrutura Adaptada do Método no Estudo de Caso 2*

O desenvolvimento efetivo dos ciclos de implementação do método no Estudo 2 ocorreu de dezembro de 2018 a fevereiro de 2019. Durante esse período foram desenvolvidos 3 ciclos mensais de implementação, ligados ao planejamento e controle de médio prazo, e 11 ciclos semanais ligados ao curto prazo. Nos ciclos mensais de implementação foram realizadas as seguintes atividades pela pesquisadora:

- participação como ouvinte nas reuniões mensais para apresentação do planejamento. Nessas reuniões, a equipe de planejamento apresentava o plano de médio prazo para a equipe direta da obra, e eram acordadas ou

ajustadas (se necessário) as metas mensais com a equipe de coordenação da produção e encarregados;

- atualização do modelo BIM 4D referente à programação do médio prazo;
- preparação dos modelos sobrepostos (BIM 4D e nuvens de pontos), com desvios de progresso codificados por indicadores de cores na simulação 4D;
- cálculo de indicadores de desempenho.

As atividades realizadas pela pesquisadora nos ciclos semanais de implementação do método no Estudo de Caso 2 foram:

- voos com VANT para registro de imagens do atual estado do canteiro ao final de cada semana;
- processamento fotogramétrico das imagens registradas com VANT e geração dos produtos do mapeamento 3D semanal do canteiro.

Os produtos gerados e entregues à equipe gerencial da obra durante os ciclos de implementação no Estudo de Caso 2 foram:

- modelo BIM 4D com a simulação da programação mensal da obra, em formato de vídeo da simulação 4D;
- imagens registradas semanalmente com o VANT e produtos fotogramétricos semanais do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto);
- vídeo com a evolução visual das ortofotos geradas no mês;
- modelo sobreposto (nuvens de pontos e BIM 4D) com desvios de progresso codificados por cores, também em formato de vídeo da simulação 4D;
- relatórios quinzenais de progresso em formato de apresentação de slides, contendo imagens das ortofotos, imagens do modelo BIM 4D, dados dos indicadores e vídeos das simulações 4D.

A comunicação e entrega destes produtos à equipe da obra, também foi por meio de uma conta compartilhado no Dropbox e comunicações via e-mail. O Quadro 9 apresenta o resumo da caracterização das principais atividades desenvolvidas ao longo da implementação do método no Estudo de Caso 2. O detalhamento desses dados, apresentados por ciclo mensal desenvolvido, é apresentado no **Apêndice 10**.

Quadro 9 – Resumo de dados das atividades desenvolvidas durante a implementação do método proposto no Estudo de Caso 2

<b>Atividade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Equipe da obra envolvida</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Participação em reuniões para apresentação e acordo do planejamento mensal	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral de obras</li> <li>• Coordenador de prod. e eng.</li> <li>• Coordenadora de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Responsável pela engenharia</li> <li>• Estagiária de engenharia</li> <li>• Gerente de produção</li> <li>• Estagiário de produção</li> <li>• Eng. de qualidade e seg.</li> <li>• Estagiária de qualidade e seg.</li> <li>• Equipe de encarregados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Apresentação realizada do planejamento</li> </ul>
Voos semanais com VANT em canteiro para mapeamento 3D	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsável pela engenharia</li> <li>• Estagiária de engenharia</li> <li>• Estagiária de qualidade e seg.</li> <li>• Estagiário de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>• Checklist para missão com VANT</li> </ul>
Entregas do mapeamento 3D semanal para uso como apoio nas reuniões semanais de coordenação da produção	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadora de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Responsável pela engenharia</li> <li>• Estagiária de engenharia</li> <li>• Gerente de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto)</li> <li>• Conjunto das principais imagens do canteiro selecionadas</li> </ul>
Entregas de relatórios de progresso com os dados dos indicadores, modelo sobreposto com indicadores de cores e simulação 4D do mês seguinte	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadora de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Responsável pela engenharia</li> <li>• Estagiária de engenharia</li> <li>• Gerente de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatório quinzenal de progresso</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês</li> <li>• Animação com a evolução visual das ortofotos do mês</li> <li>• Vídeo da simulação 4D dos modelos sobrepostos com indicadores de cores</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês seguinte</li> </ul>
Reunião com setor da produção para alinhamento das demandas semanais de informação do setor em relação ao estudo	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente de produção</li> <li>• Coordenador de produção e engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> </ul>
Reunião com setor de planejamento para apresentação do modelo BIM 4D e alinhamento das entregas quinzenais	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadora de planejamento</li> <li>• Estagiária de engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Modelo BIM 4D com a simulação da programação mensal da obra</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.5.3.4 Entrevistas para Análise de Percepções sobre o Método Proposto e Processo de Implementação no Estudo de Caso 2

A etapa de entrevistas no Estudo de Caso 2 foi realizada em fevereiro de 2019. Assim como no estudo anterior, tais entrevistas tiveram por objetivo registrar e avaliar a percepção da equipe da obra, em relação ao método proposto e ao seu processo de implementação na Obra B. Para tal, foram entrevistados três membros da equipe gerencial da obra que estiveram mais diretamente ligados ao desenvolvimento do Estudo 2, conforme caracterizados no Quadro 10.

Quadro 10 - Caracterização da equipe gerencial da Obra B entrevistada no Estudo 2

Função/ cargo	Tempo de experiência na construção civil	Nível gerencial de atuação	Código de identificação na entrevista	Data da entrevista	Duração da entrevista
Coordenadora de Planejamento	9 anos	Média gerência	CP2	21/02/2019	00:25 h
Estagiário de Planejamento	4 anos	Gerência geral da obra	EP2	21/02/2019	00:28 h
Estagiária de Engenharia	2 anos e 2 meses	Coordenação da produção	EE2	21/02/2019	00:30 h

Fonte: Elaborado pela autora

Para o desenvolvimento das entrevistas no Estudo de Caso 2 foi utilizado o mesmo protocolo estruturado usado nas entrevistas do Estudo 1. No entanto, a versão completa do protocolo (**Apêndice 4**) foi ajustada e reduzida, visando contemplar apenas a avaliação dos processos e produtos do método que de fato foram aplicados no Estudo 2. Para avaliação dos resultados gerais de cada questão objetiva, foram adotadas as mesmas considerações já comentadas anteriormente, na seção que aborda as entrevistas do Estudo de Caso 1 (**Item 4.5.1.3**).

#### 4.6 ETAPA DE AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

A etapa de avaliação tem por objetivo avaliar o comportamento do artefato quanto ao atendimento das soluções esperadas. A primeira atividade que compõe esta etapa é a definição dos critérios de avaliação, ou seja, os constructos de pesquisa. Segundo Martins e Palissaro (2005), os constructos de pesquisa representam recursos científicos definidos com o objetivo de delimitar o escopo do trabalho, por meio da tradução deste em proposições particulares observáveis e



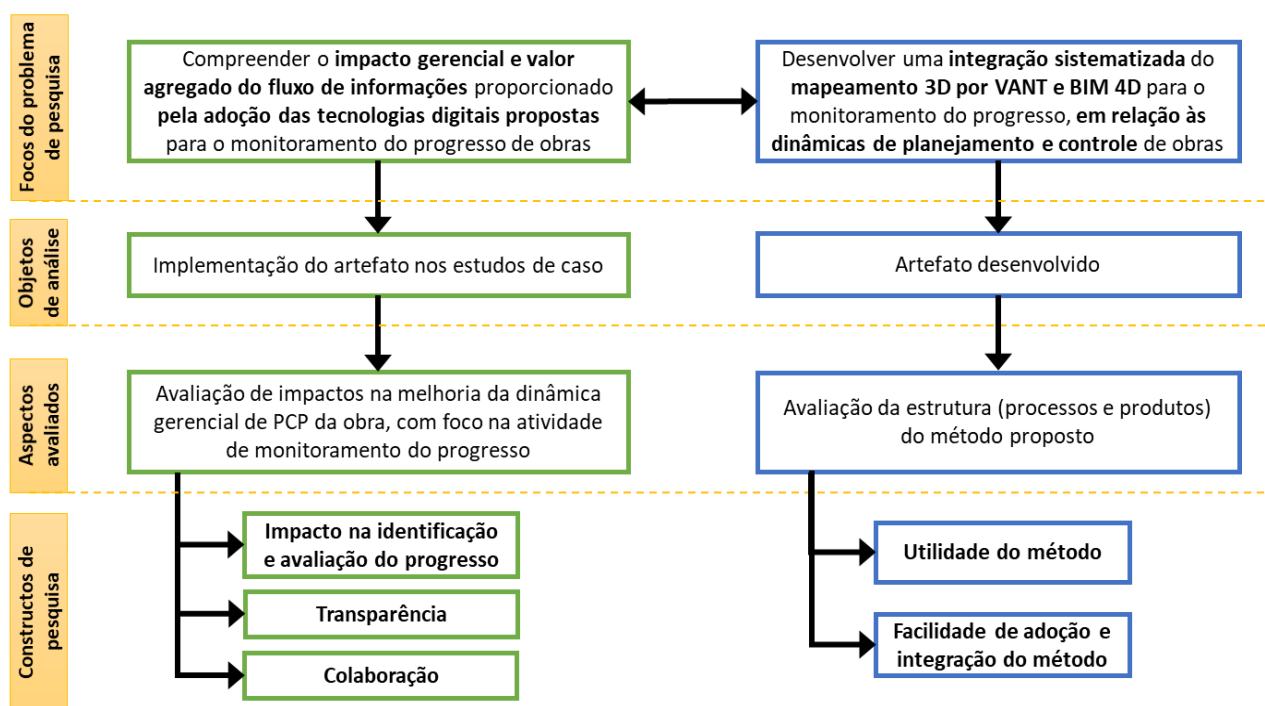
mensuráveis, que tentam representar empiricamente definições que fazem parte de um contexto teórico específico.

Para a definição dos constructos foi levado em consideração os dois principais focos do problema de pesquisa definido:

- 1) necessidade de integração sistematizada das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D para monitoramento visual do progresso, às dinâmicas de planejamento e controle de obras;
- 2) a necessidade de compreender o impacto gerencial e valor agregado do fluxo de informações proporcionado pela adoção dessas tecnologias digitais para o monitoramento do progresso de obras.

Dessa forma, foram definidos constructos relacionados à dois principais objetos de análise: (1) o artefato desenvolvido (método proposto), e (2) a implementação do artefato nos estudos de caso (resultados obtidos a partir da implementação do método). A Figura 23 apresenta o fluxo da estrutura analítica simplificada do presente trabalho (*Analytical Framework*), na qual é apresentada as principais conexões entre os focos do problema de pesquisa, objetos de análise, aspectos avaliados no estudo e constructos de pesquisa definidos.

Figura 23 - Estrutura analítica simplificada do presente trabalho (*Analytical Framework*)



Fonte: Elaborado pela autora

Além disso, a estrutura analítica completa do trabalho inclui também variáveis de pesquisa e fontes de evidências de dados, associados à cada um dos constructos. As variáveis foram definidas principalmente com base na revisão da literatura, nos dados coletados e resultados preliminares obtidos na etapa de estudo exploratório. As fontes de evidência incluem observações diretas e anotações da pesquisadora, feedback das equipes das obras envolvidas nos processos de implementação do método, indicadores de desempenho para avaliação do processo (implementação) e do produto (método proposto), modelos visuais gerados, relatórios de reuniões e relatórios de pesquisa, checklists, planilhas e banco de dados de pesquisa, formulários e entrevistas estruturadas.

A seguir são apresentadas as definições dos constructos selecionados para o presente estudo, bem como as variáveis correspondentes.

#### **4.6.1 Impacto na Identificação e Avaliação do Progresso da Obra**

Este constructo visa avaliar o impacto das informações obtidas a partir da implementação do método proposto, para a melhoria de processos gerenciais ligados à identificação, avaliação e controle de possíveis desvios de progresso da obra, de forma a minimizar os desvios negativos. Estes desvios negativos, que estão associados à uma produção menor do que a planejada, podem acarretar em atrasos e desvios de custo, entre outros impactos negativos. As variáveis definidas para avaliação deste constructo incluem:

- a) Avaliação visual do progresso real da obra com uso de mapeamento 3D do canteiro por VANT;
- b) Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra;
- c) Identificação das causas de desvios negativos de progresso;
- d) Mitigação de desvios negativos de progresso pelo planejamento e implementação de ações corretivas.

#### **4.6.2 Transparência**

Neste trabalho, entende-se que transparência está associada à capacidade de um processo de produção (ou de suas partes) em se comunicar com as pessoas, tornando os principais fluxos e informações visíveis e compreensíveis, por meios físicos e organizacionais, medições e exibição visual e clara de informações

(FORMOSO; SANTOS; POWELL, 2002; KOSKELA, 1992). Neste trabalho, será avaliado o aumento da transparência de processos gerenciais principalmente ligados ao monitoramento do progresso da obra, a partir da implementação do método proposto. Para tanto, foram avaliadas as seguintes variáveis:

- a) Qualidade da comunicação do status do progresso da obra a partir do uso de tecnologias de dados visuais e indicadores;
- b) Simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso da obra, ao longo do desenvolvimento das atividades do método;
- c) Visualização e identificação de informações e atributos que antes não eram observados, a partir das medições de desempenho e uso das tecnologias propostas.

#### **4.6.3 Colaboração**

Neste trabalho, entende-se que colaboração representa o compartilhamento de dados, informações e conhecimentos, bem como o compartilhamento de objetivos comuns e busca por soluções de maneira conjunta, dividindo e gerenciando responsabilidades (KVAN, 2000). O aumento da colaboração está associado ao aumento da interação e maior comunicação entre intervenientes ligados à um determinado processo (KVAN, 2000). Baseado neste conceito, este trabalho avaliará o aumento da colaboração entre intervenientes associados aos processos de PCP, com foco no monitoramento do progresso da obra, a partir da implementação do método proposto. Para este constructo, as seguintes variáveis foram avaliadas:

- a) Eficiência na troca e compartilhamento de informações associadas ao progresso da obra, a partir do uso de tecnologias de dados visuais e indicadores de desempenho;
- b) Envolvimento e interação entre diferentes intervenientes ligados ao PCP, nas atividades relacionadas ao monitoramento do progresso da obra;
- c) Análise compartilhada da situação e tomada de decisão conjunta em relação ao progresso da obra.

#### **4.6.4 Utilidade do Método Proposto**

A utilidade neste estudo está associada à avaliação do método (tanto dos seus processos – sistemática, quando dos seus produtos e ferramentas) em relação ao

atendimento dos objetivos propostos, a partir de sua implementação prática em contextos reais. Nesse sentido, as seguintes variáveis foram analisadas:

- a) Importância das atividades e produtos que compõem o método para um monitoramento efetivo do progresso da obra e tomada de decisão gerencial;
- b) Adequação das atividades e produtos que compõem o método (maneira como são desenvolvidas e apresentados, respectivamente) às necessidades do monitoramento do progresso da obra;
- c) Benefícios e dificuldades trazidos aos processos gerenciais das obras a partir da implementação do método proposto.

#### **4.6.5 Facilidade de Adoção e Integração do Método Proposto aos Processos de Planejamento e Controle da Obra**

Este constructo está associado à avaliação da adequação da sistemática e dos produtos propostos pelo método, aos fluxos gerenciais e de informações já adotado pelas obras. A facilidade de adoção e integração do método está relacionada, por exemplo, aos pré-requisitos necessários à sua implementação e aos níveis de compreensão e utilização dos elementos proposto pelo método, por parte da equipe gerencial da obra. As variáveis definidas para a avaliação deste constructo incluem:

- a) Facilidade de compreensão pela equipe gerencial da obra das atividades e produtos que compõem o método;
- b) Facilidade aplicação na obra estudada das atividades e produtos que compõem o método;
- c) Facilidade de integração entre os processos gerenciais da empresa e as atividades do método proposto.

O Quadro 11 apresenta os componentes da estrutura analítica completa do trabalho (*Analytical Framework*), incluindo constructos, variáveis e fontes de evidência.

Quadro 11 – Estrutura analítica completa do trabalho: Constructos, variáveis e fontes de evidência para avaliação do artefato

<b>Constructo</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Fontes de evidência</b>
Impacto na identificação e avaliação do progresso da obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação visual do progresso real da obra com uso de mapeamento 3D do canteiro por VANT</li> <li>• Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra</li> <li>• Identificação das causas de desvios negativos de progresso</li> <li>• Mitigação dos desvios negativos de progresso pelo planejamento e implementação de ações corretivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Feedback da equipe da obra</li> <li>• Entrevistas estruturadas</li> <li>• Produtos dos mapeamentos 3D</li> <li>• Modelos sobrepostos (BIM 4D e nuvem de pontos) com indicadores de cores para desvios de progresso</li> <li>• Resultados dos indicadores medidos</li> <li>• Mapeamento das causas de desvios de progresso (relatórios de progresso)</li> </ul>
Transparência	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade da comunicação do status do progresso a partir do uso de tecnologias de dados visuais e indicadores</li> <li>• Simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso, ao longo do desenvolvimento das atividades do método</li> <li>• Visualização e identificação de informações e atributos que antes não eram observados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Feedback da equipe da obra</li> <li>• Entrevistas estruturadas</li> <li>• Produtos dos mapeamentos 3D</li> <li>• Modelos sobrepostos (BIM 4D e nuvem de pontos) com indicadores de cores para desvios de progresso</li> <li>• Resultados dos indicadores medidos</li> <li>• Mapeamento das causas de desvios de progresso (relatórios de progresso)</li> </ul>
Colaboração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso das tecnologias e indicadores</li> <li>• Envolvimento e interação entre diferentes intervenientes ligados PCP, nas atividades relacionadas ao monitoramento do progresso</li> <li>• Análise compartilhada da situação e tomada de decisão conjunta em relação ao progresso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Feedback da equipe da obra</li> <li>• Entrevistas estruturadas</li> </ul>
Utilidade do método proposto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importância das atividades e produtos do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão</li> <li>• Adequação das atividades e produtos do método às necessidades do monitoramento do progresso</li> <li>• Benefícios e dificuldades associados à implementação do método</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Feedback da equipe da obra</li> <li>• Entrevistas estruturadas</li> </ul>
Facilidade de adoção e integração do método proposto aos processos de planejamento e controle da obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade de compreensão das atividades e produtos do método pela equipe gerencial da obra</li> <li>• Facilidade de aplicação das atividades e produtos do método na obra estudada</li> <li>• Facilidade de integração entre os processos gerenciais da empresa e as atividades do método</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Feedback da equipe da obra</li> <li>• Entrevistas estruturadas</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.7 ETAPA DE CONCLUSÃO – FORMATAÇÃO FINAL DO MÉTODO

A última etapa da pesquisa contempla a formalização da estrutura final do método proposto (artefato de pesquisa), definida após as implementações, avaliações e refinamentos durante os estudos de caso, bem como desenvolvimento de um conjunto de recomendações para sua implementação. Tais recomendações visam orientar a adoção e implementação do método em contextos reais, buscando a integração efetiva de suas atividades e produtos às dinâmicas de planejamento e controle das obras. Além disso, as recomendações foram criadas com intuito de possibilitar o aproveitamento dos potenciais oferecidos pelo método, principalmente em termos de melhoria dos fluxos de informações gerenciais e do processo de monitoramento do progresso de obras, a partir de sua incorporação pelo sistema de gestão da construtora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados do presente trabalho, que incluem: (1) os requisitos práticos preparatórios para o desenvolvimento do método proposto, levantados a partir da etapa de estudo exploratório; (2) a proposta preliminar do método; (3) resultados dos estudos de caso; (4) avaliação dos resultados das implementações do método com base nos constructos de pesquisa; e (5) a estrutura final do método e recomendações para sua implementação.

### 5.1 REQUISITOS PRÁTICOS PREPARATÓRIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO

Nesta seção são apresentados os requisitos práticos mais relevantes, levantados a partir dos testes de ferramentas e processos preparatórios à elaboração e implementação do método, desenvolvidos no estudo exploratório.

#### 5.1.1 Nível de Visibilidade Requerido à Nuvem de Pontos (Densidade)

Para o presente trabalho, o nível de visibilidade do modelo de nuvem de pontos pode ser definido como o nível de informação visual da superfície mapeada que é possível de ser obtido a partir da nuvem de pontos, ou seja, a quão clara e completa é a representação visual da cena real capturada nas imagens, por meio do modelo de nuvem de pontos fotogramétrico. Por conta disso, a densidade de pontos do modelo é um dos parâmetros fundamentais para a determinação do nível de visibilidade. Quanto mais densa a nuvem de pontos, mais completa e clara será a representação da superfície mapeada e, por consequência, maior o nível de visibilidade do modelo.

A partir desse conceito, foram testados modelos de nuvem de pontos gerados a partir de dois níveis de “*Qualidade de reconstrução da nuvem de pontos*”, sendo este um parâmetro de processamento no software PhotoScan. Quanto maior o nível da “*Qualidade de reconstrução*”, maior a densidade do modelo gerado, porém também será maior o tempo necessário para processamento e geração da nuvem de pontos.


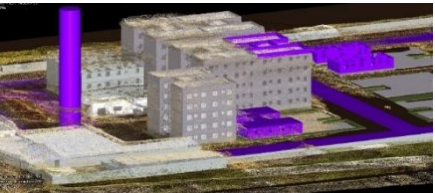
Nos testes realizados foram processados 4 conjuntos de fotos, duas vezes cada, sendo cada conjunto correspondente à um mapeamento 3D diferente, totalizando 8 nuvens de pontos. Na primeira vez, cada conjunto foi processado adotando o parâmetro de “*Baixa qualidade de reconstrução*”, o que resultou em modelos com densidade entre 1.498.256 e 2.189.111 pontos, e demorando entre 3 minutos e 24

segundos e 22 minutos e 28 segundos para processamento. Já na segunda vez, os conjuntos de fotos foram processados adotando o parâmetro de “*Média qualidade de reconstrução*”, o que resultou em modelos com densidade entre 7.144.905 e 11.474.655 pontos, e demorando de 14 minutos e 25 segundos a 2 horas e 9 minutos.

O parâmetro “*Alta qualidade de reconstrução*” não foi testado, pois identificou-se que o mesmo levaria um tempo muito longo para processar, gerando um modelo de nuvem de pontos com nível de visibilidade não tão diferente/melhor que os modelos gerados com “*Média qualidade de reconstrução*”, especificamente para os conjuntos de fotos testados. Em casos de superfícies mapeadas com características diferentes da superfície que foi testada (figuras da Tabela 1), recomenda-se também a avaliação do processamento com “*Alta qualidade de reconstrução*”.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos 8 modelos de nuvem de pontos testados, bem como exemplo de modelos gerados com “*Média e Baixa qualidade*” sobrepostos ao modelo BIM da obra, para melhor comparação do nível de representação visual.

Tabela 1 - Resultados dos testes de processamento de modelos de nuvem de pontos com “*Média*” e “*Baixa qualidades de reconstrução*” no software PhotoScan

Modelo	Densidade (nº de pontos)	Tempo de processamento	Exemplo de visualização dos modelos sobrepostos em simulação 4D
<b>“<i>Média qualidade de reconstrução</i>”</b>			
NP1_MD	7.619.030	02:09:00	 <p>Ex.: Modelo NP1_MD sobreposto ao BIM</p>
NP2_MD	7.144.905	01:53:00	
NP3_MD	9.857.152	00:51:55	
NP4_MD	11.474.655	00:14:25	
<b>Média</b>	<b>9.023.936</b>	<b>01:17:05</b>	
<b>“<i>Baixa qualidade de reconstrução</i>”</b>			
NP1_BD	1.737.020	00:22:28	 <p>Ex.: Modelo NP1_BD sobreposto ao BIM</p>
NP2_BD	1.498.256	00:21:37	
NP3_BD	2.070.770	00:12:34	
NP4_BD	2.189.111	00:03:24	
<b>Média</b>	<b>1.873.789</b>	<b>00:15:01</b>	

Fonte: Elaborado pela autora

Os dados da Tabela 1 mostram que o incremento do tempo de processamento obtido para os modelos gerados com “*Média qualidade de reconstrução*” pode ser justificado pelo maior nível de visibilidade obtido pela nuvem de pontos. Em função disso, este foi o principal nível de “*Qualidade de reconstrução*” das nuvens de pontos adotado durante a implementação do método proposto nos estudos de caso.



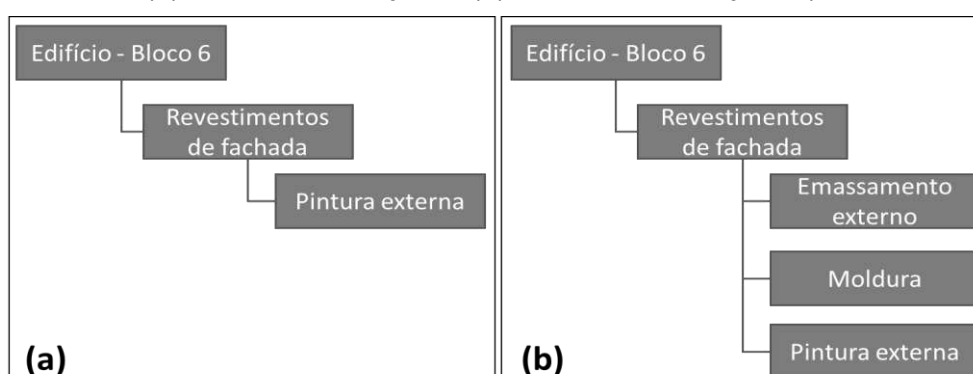
A média de 1 hora e 17 minutos de processamento (Tabela 1) apresenta-se aceitável para a proposta de utilização do modelo de nuvem de pontos considerada no presente trabalho. Ainda mais quando considerado o maior nível de visibilidade (densidade) obtido pelo modelo com “*Média qualidade de reconstrução*”. Os modelos gerados com “*Média qualidade*” permitem uma identificação visual com maior clareza e facilidade das diferenças entre os elementos do modelo de nuvem de pontos e modelo BIM (figuras da Tabela 1). Por consequência, os mesmos possibilitam melhor comparação visual do progresso real com o progresso planejado, em contraste ao nível de visibilidade oferecido pelos modelos com “*Baixa qualidade de reconstrução*”.

### 5.1.2 Nível de Detalhamento Requerido à Estrutura Analítica de Projeto (EAP)

Pensando em uma divisão dos trabalhos que atendesse às necessidades do monitoramento visual do progresso da obra, foi identificado que é necessária uma hierarquização das atividades e detalhamento da EAP compatível com: (a) a maneira como os serviços serão executados em canteiro; (b) o tempo de ciclo de execução de cada serviço; e (c) a periodicidade e maneira como os serviços são medidos para monitoramento do progresso à nível operacional.

Dessa forma, observou-se a necessidade de detalhar melhor alguns itens da EAP da Obra A, criando mais subníveis, para que não houvesse problemas durante a criação do modelo 4D da construção e uso do mesmo juntamente ao modelo de nuvem de pontos do canteiro para monitoramento visual do progresso da obra. A Figura 24 apresenta exemplo de hierarquização da EAP da Obra A para a atividade de revestimento externo dos prédios, antes (Figura 24(a)) e depois do ajuste (Figura 24(b)) buscando maior detalhamento das atividades.

Figura 24 – Exemplos de EAPs para a atividade de revestimento de fachada de um dos prédios da Obra A: (a) EAP antes do ajuste; (b) EAP depois do ajuste (maior detalhamento)



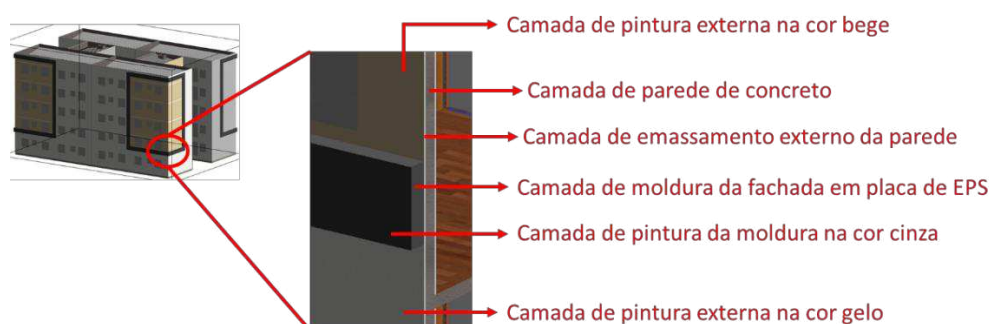
Fonte: Elaborado pela autora

### 5.1.3 Nível de Desenvolvimento (LOD) Requerido ao Modelo BIM 3D

Para que o modelo BIM desenvolvido no presente estudo atendesse às necessidades do monitoramento visual do progresso e, por consequência, fosse compatível com o nível de detalhamento da EAP ajustada, foi necessário que o mesmo possuísse um nível de desenvolvimento (*Level of Development* – LOD) entre 300 e 400. Alguns elementos do modelo BIM foram modelados com informações construtivas de grande confiabilidade, de forma que realmente representassem a maneira como os mesmos seriam executados em canteiro, e, conseqüentemente, compatível com a forma como os quais seriam avaliados visualmente e medidos em termos do progresso das atividades.

Dessa forma, elementos como as paredes e lajes em estrutura de concreto foram modelados a partir da configuração e projeto do jogo de fôrmas adotado no sistema de parede de concreto, ou seja, modelados por pavimento e considerando as dimensões dos sistemas de fôrmas e as uniões das paredes e laje do pavimento como elemento único (construído de forma conjunta). Outro exemplo refere-se aos revestimentos externos de fachada, que foram modelados especificando cada uma das camadas, com material, alturas, espessuras e detalhes construtivos conforme realmente seriam executados na prática. A Figura 25 ilustra algumas das informações atribuídas aos elementos do revestimento de fachada do modelo BIM desenvolvido.

Figura 25 – LOD do modelo BIM da Obra A: Exemplo visual do nível de desenvolvimento de informações atribuídas aos elementos de revestimento externo



Fonte: Elaborado pela autora

### 5.1.4 Sobreposição de Nuvem de Pontos ao Modelo BIM 4D no Software Navisworks para Identificação e Comunicação Visual do Progresso

Visando a utilização da nuvem de pontos e do modelo BIM 4D como ferramentas para comparação visual do progresso real e progresso planejado da obra, a partir da utilização de softwares comerciais, de fácil acesso e amplamente difundidos no

mercado, no presente trabalho foi estruturado um procedimento para sobreposição e uso desses modelos em simulação 4D, no software Navisworks.

Para sobreposição e alinhamento dos modelos a partir do procedimento adotado, a nuvem de pontos é inicialmente exportada do PhotoScan (software usado no trabalho para processamento fotogramétrico) em formato *.las*, e convertida para arquivo *.rcp* com apoio do software Revit. Este arquivo *.rcp* é então importado para o arquivo do modelo BIM 4D no Navisworks. Para alinhamento da nuvem de pontos ao modelo BIM, são utilizadas as ferramentas do Navisworks para medição (ponto a ponto e ângulo) e movimentação (translação e rotação) de objetos.

Para representação da nuvem de pontos na simulação 4D, é criada uma atividade correspondente na *timeline* do Navisworks. Essa atividade possui link ao *set* (conjunto) criado na plataforma Navisworks para o elemento do modelo de nuvem de pontos importado, e suas datas de início e fim são preenchidas com a data correspondente ao registro das imagens em canteiro com VANT. Dessa maneira, é possível a representação visual do atual estado do canteiro em sobreposição ao estado planejado na simulação 4D.

A partir da simulação 4D com os modelos sobrepostos, é possível a identificação visual pelo usuário das atividades externas às edificações que estão de acordo com o planejamento e também dos desvios de progresso (atividades atrasadas ou adiantadas). Nessa simulação 4D, as atividades em conformidade são visualmente identificadas em ambos os modelos (nuvem de pontos e BIM), aquelas atrasadas são visualizadas apenas no modelo BIM, e as adiantadas somente visualizadas no modelo de nuvem de pontos.

Para facilitar ainda mais a comunicação visual do status de progresso da obra a partir dos modelos sobrepostos, o modelo BIM é ainda codificado com indicadores de cores na simulação 4D, após sua comparação visual com a nuvem de pontos (para atividades externas) e também obtenção dos dados de medição direta das atividades internas. As regras de codificação são criadas no Navisworks, baseadas nos indicadores de cores para desvios de progresso propostos por Golparvar-Fard *et al.* (2009), e também usados por Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015).

Três tipos de atividades são criados no Navisworks: (1) *Executada no mês*; (2) *Atrasada no mês*; e (3) *Adiantada no mês*. Optou-se por adotar uma referência mensal para codificação das atividades, pois a periodicidade para monitoramento do

progresso com base nos modelos visuais, no método proposto, possui frequência mensal (ligada ao planejamento e controle de médio prazo).

A identificação de “*Executada no mês*” é atribuída na *timeline* do modelo 4D às atividades planejadas e efetivamente cumpridas no mês analisado. Na simulação 4D, o tipo de atividade “*Executada no mês*” tem os elementos do modelo BIM apresentados na cor roxa ao longo do período de execução, e estes assumem a aparência real do modelo BIM quando concluída a atividade. A identificação de “*Atrasada no mês*” é atribuída às atividades do modelo 4D que estavam planejadas para o mês em análise, mas que não foram executadas. Tal identificação está associada à aparência dos elementos BIM codificados em vermelho na simulação 4D. Por fim, a identificação de “*Adiantada no mês*” é atribuída às atividades que não foram planejadas para o mês, mas que já foram executadas no período analisado. A atividade do tipo “*Adiantadas no mês*” possui aparência dos elementos do modelo BIM codificados em verde na simulação 4D. A Figura 26 apresenta exemplo de um dos modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM) desenvolvido no presente trabalho, com os indicadores de cores para o progresso em simulação 4D.

Figura 26 - Exemplo de modelo sobreposto (nuvem de pontos e BIM) com os indicadores de cores para identificação do status de progresso em simulação 4D



Fonte: Elaborado pela autora

## 5.2 PROPOSTA PRELIMINAR DO MÉTODO (ARTEFATO DA PESQUISA)

A proposta preliminar do método desenvolvido para monitoramento visual do progresso de obras tem por objetivo principal sistematizar o uso das tecnologias de mapeamento 3D de canteiro por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e BIM 4D, de maneira integrada aos processos de planejamento e controle da produção. Para tanto, foram consideradas os seguintes pré-requisitos e premissas:

- Seleção de tecnologias digitais com representação de dados visuais, evidenciadas na literatura como de grade potencial para o monitoramento do progresso: BIM 4D e o mapeamento 3D fotogramétrico com uso de VANT.
- Contribuições e experiências de estudos anteriores relacionados ao tema, como, por exemplo, os estudos mais recentes desenvolvidos por Han e Golparvar-Fard (2017), Lin e Golparvar-Fard (2017), e Han, Degol e Golparvar-Fard (2018), entre outros apresentados ao longo do **Capítulo 3** do presente trabalho.
- Definição das etapas gerais do método e de alguns dos seus processos, a partir de uma estrutura hierárquica de Planejamento e Controle da Produção (PCP) amplamente reconhecida e utilizada, inspirada no *Last Planner* (BALLARD, 2000; BALLARD; TOMELAIM, 2016). Assim, as etapas do método estão organizadas de acordo com os níveis de planejamento e controle de longo, médio e curto prazo (caracterizados no **Capítulo 2** do trabalho, **Item 2.2.2**). No entanto, foram também incorporados diversos processos que não fazem parte do *Last Planner*, e a estrutura do método foi desenvolvida de maneira que possa ser adaptada para diferentes sistemas de PCP.
- Adoção de softwares comerciais para geração e manipulação dos modelos visuais, visando facilitar a adoção das tecnologias propostas por empresas e usuários. Apesar dessa abordagem dificultar a automatização de algumas análises digitais, e ir na contramão de outros pesquisadores que trabalham com essa temática envolvendo o desenvolvimento de sistemas computacionais próprios, o foco principal do presente método é a estruturação dos processos gerenciais para uso das tecnologias, e avaliação do valor agregado das informações proporcionadas pelas mesmas. No entanto, a estrutura do método foi desenvolvida de maneira que possa ser adaptada para a incorporação de sistemas próprios automatizados em trabalhos futuros.
- Estruturação da conexão entre os softwares adotados, a partir da definição da arquitetura de software.
- Incorporação de informações não visuais complementares ao monitoramento visual do progresso, incluindo a sugestão de indicadores de desempenho, identificação de causas de desvios de progresso e plano de ações corretivas para desvios negativos.

- Definição dos produtos do método e de ferramentas para suporte à coleta de dados. Tais produtos incluem as fotografias aéreas, produtos fotogramétricos, modelos BIM (3D e 4D), modelos visuais sobrepostos (BIM 4D e nuvem de pontos) com indicadores de cores, indicadores e dados complementares apresentados em relatórios e dashboard digitais, banco de dados e planilhas.
- Testes iniciais das tecnologias propostas e processos preparatórios à proposição e implementação do método, realizados na etapa da pesquisa de estudo exploratório.

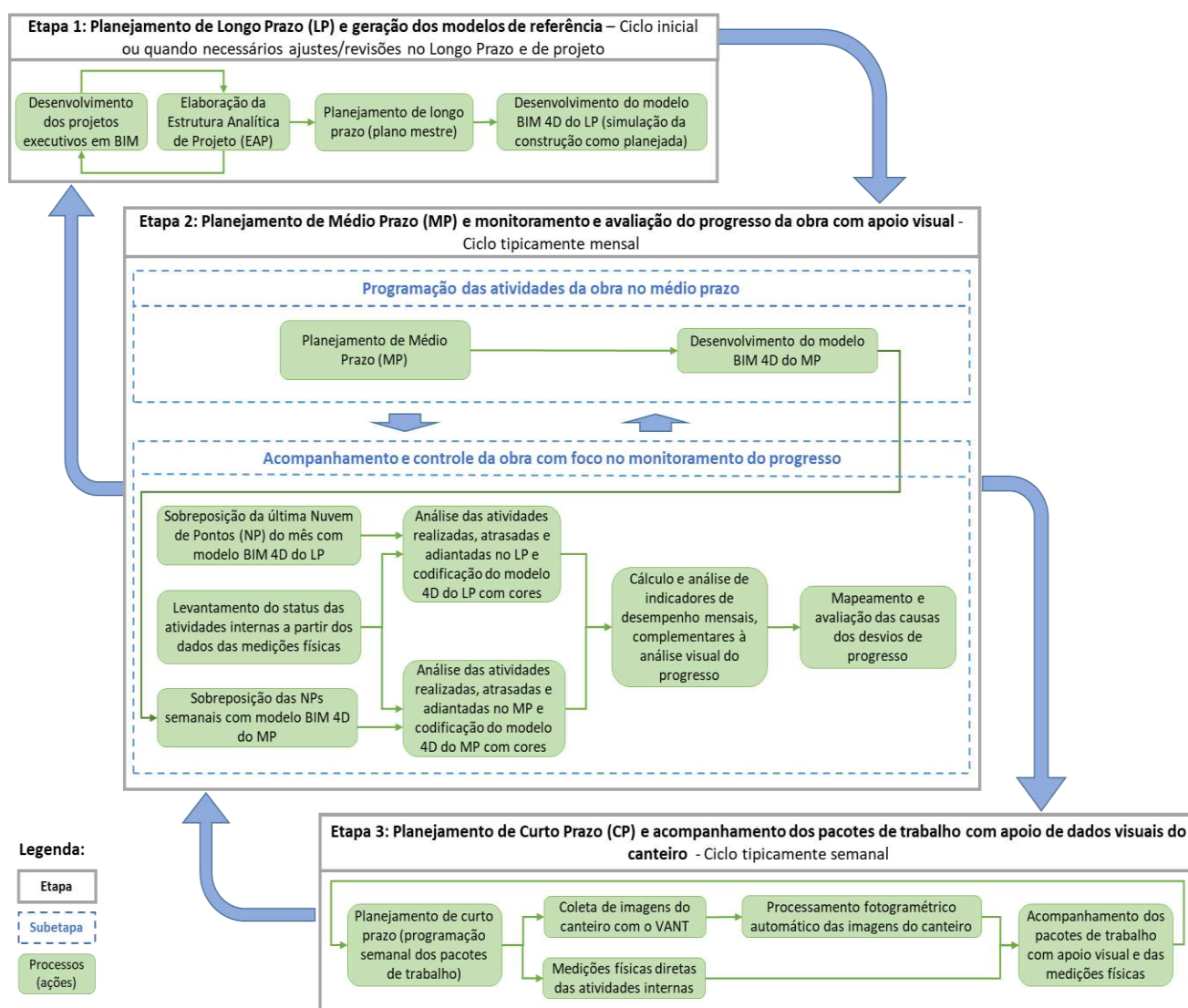
Partindo destas premissas, a proposta do método inclui uma sistemática com procedimentos gerenciais de preparação, coleta, processamento, análise de dados e tomada de decisão em relação ao avanço da obra e possíveis desvios de progresso. Suas principais fontes de informações são os dados visuais (imagens aéreas, produtos do mapeamento 3D, modelos BIM, indicadores de cores nos modelos sobrepostos), além de suporte de dados não visuais (dados de medição em campo do progresso de atividades não visíveis no mapeamento 3D, indicadores de desempenho, mapeamento de causas de desvios de progresso, relatórios).

A Figura 27 apresenta um esquema com o fluxo de processos que compõem a proposta preliminar do método. Tais processos estão organizados em três grandes etapas, respectivamente associadas ao planejamento e controle de longo, médio e curto prazo:

- 1) Etapa 1: planejamento de longo prazo e geração dos modelos de referência. Não possui periodicidade definida, ocorrendo nas fases de pré-obra e/ou início da obra, e quando necessárias revisões ou ajustes no planejamento de longo prazo ou no projeto.
- 2) Etapa 2: planejamento de médio prazo e monitoramento e avaliação do progresso da obra com apoio visual. Possui duas subetapas, uma relacionada à programação das atividades da obra no médio prazo, e outra relacionada ao acompanhamento e controle da obra com foco no monitoramento do progresso. Sua periodicidade é tipicamente mensal.
- 3) Etapa 3: planejamento de curto prazo e acompanhamento dos pacotes de trabalho com apoio de dados visuais do canteiro. Possui periodicidade tipicamente semanal.

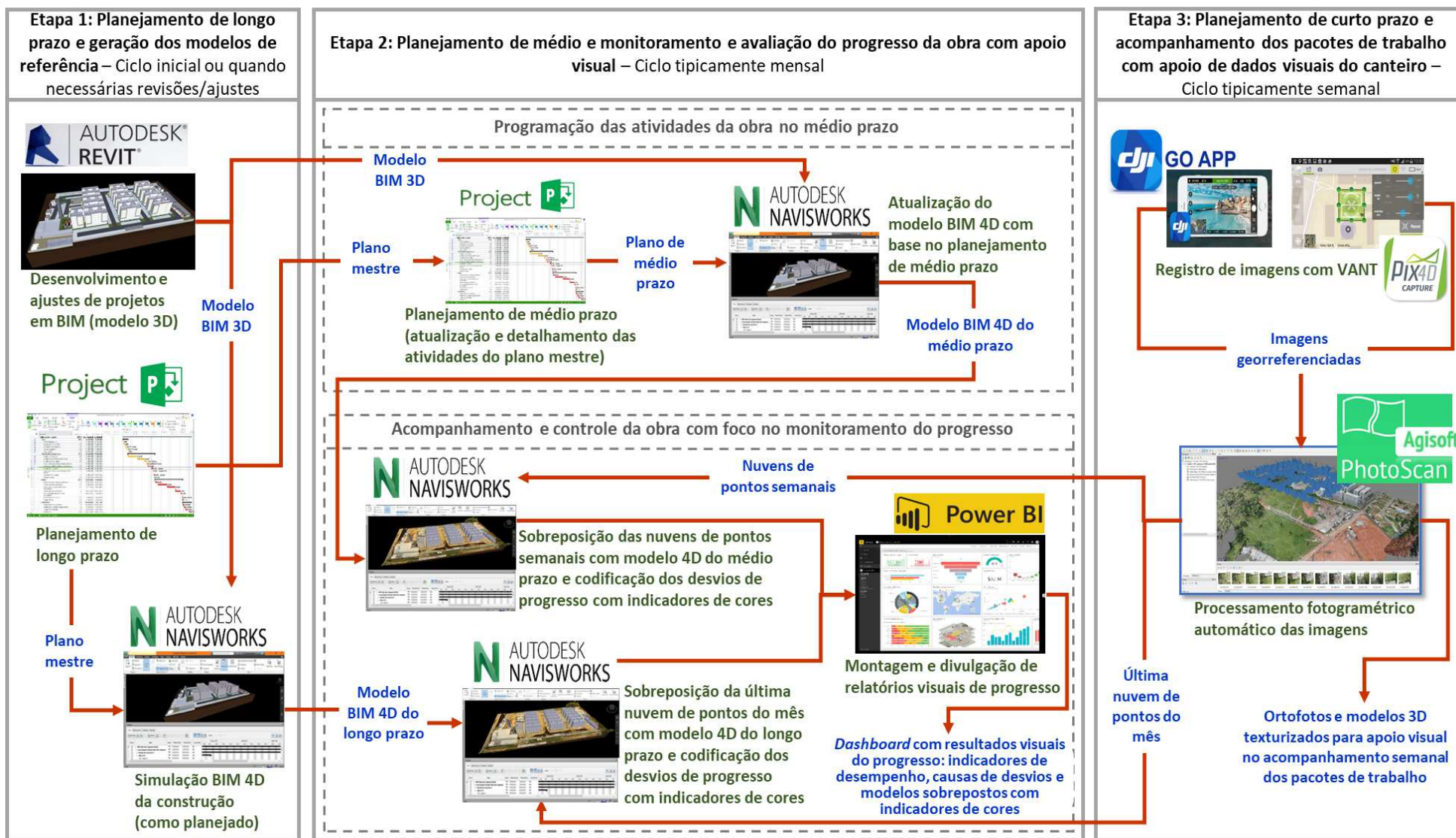
De maneira complementar às informações da Figura 27, é apresentado o fluxograma da arquitetura de software proposta para o método (Figura 28), ou seja, a indicação visual da conexão entre os potenciais softwares a serem utilizados, com informação dos *outputs* e *inputs* que os conectam. Apresenta-se ainda, no Quadro 12, as principais ferramentas sugeridas para apoio à implementação do método, incluindo os protocolos de coleta de dados (planilhas e checklists), softwares, aplicativos móveis, VANT utilizado e outras ferramentas digitais.

Figura 27 - Fluxo de processos que compõem a proposta preliminar do método desenvolvido



Fonte: Elaborado pela autora



Figura 28 – Fluxograma da arquitetura de software proposta para implementação do método desenvolvido







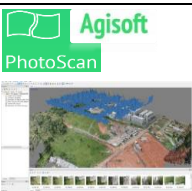
Fonte: Elaborado pela autora



Quadro 12 – Ferramentas sugeridas para apoio à implementação do método desenvolvido  
(Continua)

Tipo de ferramenta	Função no método proposto	Fonte para uso no estudo
Software para modelagem BIM 3D	 <p>Utilizado na Etapa 1 para desenvolvimento dos projetos executivos arquitetônico, estrutural e de instalações em BIM (modelo paramétrico 3D)</p>	Licença educacional (gratuita) da Autodesk
Software para suporte ao desenvolvimento do planejamento (compatível com BIM 4D)	 <p>Utilizado na Etapa 1 para suporte ao desenvolvimento do plano de longo prazo, e na Etapa 2 no suporte ao desenvolvimento do plano de médio prazo</p>	Licença adquirida do Microsoft Project, por projeto de pesquisa
Software para desenvolvimento dos modelos BIM 4D	 <p>Utilizado na Etapa 1 para modelagem 4D geral da construção conforme plano de longo prazo, e no suporte a quase todas as atividades da Etapa 2, com destaque para modelagem BIM 4D conforme plano de médio prazo, sobreposição dos modelos 4D com as nuvens de pontos, e codificação dos desvios de progresso com indicadores de cores em simulação 4D</p>	Licença educacional (gratuita) da Autodesk
Protocolo para apoio ao planejamento e controle de médio prazo	Planilha em Excel para médio prazo (Figura 29)	Suporte às atividades de programação e acompanhamento das atividades mensais, na Etapa 2
Banco de dados dos indicadores de desempenho	Planilha em Excel para cálculo e gerenciamento dos indicadores	Suporte às atividades de cálculo e análise de indicadores, na Etapa 2
Plataforma WEB para criação e compartilhamento de relatórios visuais digitais ( <i>dashboards</i> )	 <p>Uso na Etapa 2 para divulgação visual dos resultados obtidos: indicadores e status visuais do progresso (vídeo da simulação dos modelos sobrepostos com indicadores de cores)</p>	Versão gratuita do Microsoft Power BI Desktop
Protocolo para apoio ao planejamento e controle de curto prazo	Planilha em Excel para curto prazo (Figura 30)	Suporte às atividades de programação e acompanhamento semanal dos pacotes de trabalho, na Etapa 3
Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) quadricoptero de pequeno porte	 <p>Modelo DJI Phantom</p>	Uso na Etapa 3 para voos e coleta de imagens aéreas georreferenciadas do canteiro

Quadro 12 – Ferramentas sugeridas para apoio à implementação do método desenvolvido (Conclusão)

Tipo de ferramenta		Função no método proposto	Fonte para uso no estudo
Checklist para programação da missão com VANT	 (Apêndice 1)	Uso na Etapa 3 para orientar o planejamento da missão com o VANT em canteiro, em relação aos requisitos de segurança e de regulamentação, aspectos climáticos, e seleção de parâmetros de voos e de captura de imagens	Desenvolvido pela autora
Aplicativo móvel usado para controle manual do VANT	 App DJI Go	Uso na Etapa 3 para controle manual do VANT na coleta de imagens aéreas do canteiro	Aplicativo móvel gratuito disponível na Play Store ou Apple Store
Aplicativo móvel usado para controle automatizado do VANT	 App Pix4D Capture	Uso na Etapa 3 para controle automatizado do VANT na coleta de imagens aéreas do canteiro	Aplicativo móvel gratuito disponível na Play Store ou Apple Store
Checklist para realização de missão com VANT	 (Apêndice 2)	Uso na Etapa 3 para guia da missão com o VANT em canteiro e cadastro de dados dos voos	Adaptado de Álvares (2016)
Software para processamento fotogramétrico automático de imagens	 Agisoft PhotoScan	Uso na Etapa 3 para mapeamentos 3D do canteiro, com geração de produtos fotogramétricos de modelo de nuvem de pontos, ortofotos e modelos 3D texturizados	Licença adquirida do Agisoft PhotoScan, por projeto de pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora

### 5.2.1 Etapa 1: Planejamento de Longo Prazo e Geração dos Modelos de Referência

Os processos da Etapa 1 iniciam com o desenvolvimento dos projetos executivos em BIM e elaboração da Estrutura Analítica de Projeto (EAP), de maneira compatível com a estratégia adotada para monitoramento do progresso. Assim, é gerado um modelo BIM 3D alinhado à EAP, de forma que os elementos do projeto estejam modelados seguindo a mesma lógica de sua construção.

Em seguida é desenvolvido o planejamento de longo prazo da obra, com apoio de ferramenta computacional para planejamento que seja compatível com o desenvolvimento de modelos BIM 4D (sugerido o Microsoft Project). Após a elaboração do plano mestre é desenvolvido o modelo BIM 4D do longo prazo,

permitindo a simulação da construção como planejada, a partir da integração do modelo BIM 3D com o planejamento de longo prazo em plataforma digital específica, sendo utilizado o software Navisworks no estudo.

### **5.2.2 Etapa 2: Planejamento de Médio Prazo e Monitoramento e Avaliação do Progresso da Obra com Apoio Visual**

Como apresentado, as atividades que compõe a Etapa 2 estão vinculadas a duas subetapas: (1) programação das atividades da obra no médio prazo; e (2) acompanhamento e controle da obra com foco no monitoramento do progresso.

Na subetapa de programação, as atividades a serem executadas no mês seguintes são planejadas, gerando um arquivo do Project com a atualização do plano de médio prazo. O plano de médio prazo possui maior detalhamento e precisão em comparação ao longo prazo, além de atualizações com periodicidade mensal, enquanto que o longo prazo possui metas gerais mais fixas, que são atualizadas o mínimo possível ao longo da obra, somente quando avaliado como necessário. Por conta de tais especificidades, a partir do plano de médio prazo é então desenvolvido um novo modelo BIM 4D relativo à programação do médio prazo.

Na subetapa de acompanhamento e controle, propõe-se a realização de dois tipos de avaliação, uma relativa ao monitoramento das metas planejadas no longo prazo, e outra ao cumprimento das metas planejadas no médio prazo. Na avaliação baseada no planejamento de longo prazo é realizada a sobreposição do modelo BIM 4D do longo prazo (gerado na Etapa 1), com a última nuvem de pontos do canteiro gerada no mês (na última semana do mês na Etapa 3), para avaliação visual do status das metas gerais planejadas no longo prazo.

Já na avaliação baseada no planejamento de médio prazo, são sobrepostas ao modelo BIM 4D do médio prazo (desenvolvido na subetapa anterior) as nuvens de pontos geradas semanalmente ao longo do mês (na Etapa 3), para que o progresso semanal possa ser avaliado visualmente. Em ambas as avaliações (referentes ao longo e médio prazo), são identificadas as atividades em conformidade ao planejado e os desvios de progresso, conforme os procedimentos apresentados no **Item 5.1.4**.

Devido a limitações da tecnologia escolhida para registro fotográfico do canteiro, o VANT, torna-se impossibilitada a captura e representação visual na nuvem de pontos do status das atividades internas às edificações. Por conta disso, o status de

tais atividades internas é levantado a partir dos dados de medições físicas diretas, realizadas ao longo dos acompanhamentos de curto prazo (semanais) na Etapa 3.

Assim, em ambos os modelos (modelo 4D do longo e do médio prazo) os desvios de progresso identificados, tanto visualmente quanto por medições físicas diretas, são codificados com indicadores de cores no software 4D sugerido, o Autodesk Navisworks (como apresentado no **Item 5.1.4**). Tal prática visa facilitar a visualização e avaliação de pontos críticos na simulação 4D pela equipe gerencial da obra.

De forma complementar ao fluxo de informações visuais, propõe-se também o acompanhamento de indicadores de desempenho sugeridos. Para a definição dos indicadores sugeridos para compor o método, foi buscado na literatura aqueles que pudessem fornecer avaliações complementares ao monitoramento visual do progresso, dando maior suporte à tomada de decisão, associados principalmente à avaliação da eficácia e consistência do planejamento e identificação de interferências ao desenvolvimento dos serviços.

Além de indicadores de desempenho obtidos a partir da literatura, foram também elaborados pela autora alguns indicadores. Foi desenvolvido o indicador de “percentual do total de Avanço que foi Medido Visualmente (AMV)”, proposto com o objetivo de avaliar o impacto direto do uso da tecnologia de mapeamento 3D de canteiros por VANT, na avaliação visual do progresso da obra. Outros dois indicadores desenvolvidos foram o “percentual de Desvio de Progresso da obra (DP)” e “percentual de Desvio de Progresso por atividade”. Estes foram elaborados visando a obtenção de informações específicas quanto ao percentual da obra desviado negativamente ou positivamente em relação ao avanço planejado. A proposição desses dois indicadores está associada à grande relevância julgada às informações trazidas pela medição dos mesmos, para o propósito do método quanto à avaliação do progresso da obra, mas que não foi identificada por meio de indicadores levantados a partir da literatura.

Por fim, foi ainda elaborado o indicador de “percentual de Atividades Reservas Executadas (ARE)”. A informação obtida por esse indicador foi considerada relevante para as avaliações propostas pelo método, sendo este proposto para análise de maneira complementar à informação do indicador de “percentual de avanço real da obra”, obtido a partir da literatura. Somente o indicador de “percentual de avanço real da obra” não expressa o quanto desse avanço está de fato associado às atividades

que foram previstas no planejamento, e quanto representa o avanço de atividades consideradas como reservas (com frente de serviço livre, mas não planejadas). Assim, o indicador de ARE complementa e torna mais precisa a análise do progresso medido.

Todos os indicadores sugeridos são calculados na subetapa de acompanhamento e controle mensal da Etapa 2. Para alcance dos objetivos pretendidos com o cálculo e análise dos indicadores sugeridos no método proposto, é muito importante que a análise dos resultados de tais indicadores seja feita de forma conjunta, pois as informações trazidas por grande parte dos mesmos são complementares e, as vezes, não muito significativas quando analisadas isoladamente. O Quadro 13 apresenta os indicadores sugeridos, e no Quadro 14 são apresentadas as fórmulas de cálculo para cada um desses indicadores.

Para apresentação dos resultados das simulações 4D com a identificação visual do progresso (modelos sobrepostos com indicadores de cores) e dos indicadores calculados, propõe-se a formatação e disponibilização online de um relatório visual em formato de *dashboard* digital, com uso da plataforma sugerida Power BI da Microsoft. A ferramenta Power BI funciona como uma plataforma web para elaboração de painéis de dados virtuais customizáveis (com formato de *dashboard*), sendo capaz de conectar diferentes tipos de dados, gerados e armazenados a partir de diferentes softwares ou ferramentas digitais, tais como planilhas do Excel, fontes de dados locais, Big Data, fluxo de dados e serviços de nuvem (MICROSOFT, 2018a).

Por fim, propõem-se também o mapeamento e avaliação das causas dos desvios de progresso, sendo planejadas ações mitigadoras para os desvios negativos, com atribuição dos respectivos responsáveis pela aplicação de tais ações. Estas causas e ações mitigadoras são apresentadas em um plano de ação desenvolvido para correção e controle de desvios negativos.

Quadro 13 - Indicadores sugeridos para avaliação de desempenho, complementares ao monitoramento visual do progresso no método proposto (Continua)

<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função</b>	<b>Nível de PCP associado</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Fonte</b>
% de avanço da obra	Relação entre a quantidade total planejada (% de avanço planejado) ou executada (% de avanço real) para a obra no período e o total de atividades do projeto. Possui como referência o tempo de execução em horas-homem (pesos do cronograma), ou o valor orçado (pesos do orçamento)	Permite a avaliação do volume total da obra planejado ou avançado no período (progresso geral da obra)	Médio prazo e Longo prazo (considerando quantidades acumuladas)	Mensal	Akkari (2003) e Del Pico (2013)
% de avanço por atividade	Relação entre a quantidade planejada ou executada da atividade no período e o total da atividade previsto para o projeto	Permite a avaliação do volume planejado ou avançado por cada atividade (progresso específico por atividade)	Médio prazo e Longo prazo (considerando quantidades acumuladas por atividade)	Mensal	Adaptado de Akkari (2003) e Del Pico (2013)
% do total de Avanço que foi Medido Visualmente (AMV)	Relação entre a quantidade executada da obra no período, que foi medida com apoio das ferramentas visuais, e o total geral executado no período. Possui como referência o tempo de execução em horas-homem, ou o valor orçado	Permite a avaliação do impacto direto do uso das tecnologias visuais propostas na avaliação do progresso real da obra	Médio prazo e Longo prazo (considerando quantidades executadas acumuladas)	Mensal	Elaborado pela autora
% de Desvio de Progresso da obra (DP)	Relação entre a diferença do avanço real e avanço planejado para a obra no período, e o avanço planejado	Permite a identificação do percentual da obra desviado negativamente ou positivamente em relação ao avanço planejado	Médio prazo e Longo prazo (considerando valores de avanço acumulados)	Mensal	Elaborado pela autora
% de Desvio de Progresso por atividade	Relação entre a diferença do avanço real por atividade e avanço planejado para a atividade no período, e o avanço planejado para a atividade	Permite a identificação do percentual por atividade desviado negativamente ou positivamente em relação ao avanço planejado	Médio prazo e Longo prazo (considerando valores de avanço acumulados por atividade)	Mensal	Elaborado pela autora

Quadro 13 - Indicadores sugeridos para avaliação de desempenho, complementares ao monitoramento visual do progresso no método proposto (Conclusão)

<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função</b>	<b>Nível de PCP associado</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Fonte</b>
% de Atividades Iniciadas no Período Previsto (AIPP)	Relação entre o número de atividades planejadas que efetivamente iniciaram no período e o total de atividades planejadas para o período	Permite avaliação da compatibilidade entre o planejamento e a produção, associada à verificação do início das atividades dentro do intervalo planejado	Médio prazo	Mensal	Adaptado de Oliveira (1999)
% de Atividades Concluídas na Duração Prevista (ACDP)	Relação entre o número de atividades planejadas que tiveram as metas estipuladas para o período cumpridas e o total de atividades planejadas para o período	Permite avaliação da compatibilidade entre o planejamento e a capacidade de produção, associada à verificação do cumprimento das metas	Médio prazo	Mensal	Adaptado de Oliveira (1999)
% de Atividades Reservas Executadas (ARE)	Relação entre o número de atividades executadas no período que não estavam planejadas (atividades reservas) e o total de atividades executadas no período	Permite a avaliação da compatibilidade entre a capacidade de produção e o planejamento, associada à verificação da capacidade de produção não prevista, propositadamente (como reserva) ou não (falha no planejamento)	Médio prazo	Mensal	Elaborado pela autora

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 14 – Fórmulas para cálculo dos indicadores sugeridos, complementares ao monitoramento visual do progresso no método proposto

<b>Indicador</b>	<b>Fórmulas</b>
% de avanço da obra	$\frac{\Sigma(\text{Total de unidades executadas} \times \text{hh gasto para executar cada unidade})}{\text{Total de hh do projeto}} \times 100$
	$\frac{\Sigma(\text{Total de unidades executadas} \times \text{Custo orçado de cada unidade})}{\text{Custo total orçado do projeto}} \times 100$
% de avanço por atividade	$\frac{\text{Total de unidades executadas da atividade}}{\text{Total de unidades da atividade previstas no projeto}} \times 100$
% do total de Avanço que foi Medido Visualmente (AMV)	$\frac{\Sigma(\text{Total de unidades executadas medidas visualmente} \times \text{hh gasto para executar cada unidade})}{\Sigma(\text{Total de unidades executadas} \times \text{hh gasto para executar cada unidade})} \times 100$
	$\frac{\Sigma(\text{Total de unidades executadas medidas visualmente} \times \text{Custo orçado de cada unidade})}{\Sigma(\text{Total de unidades executadas} \times \text{Custo orçado de cada unidade})} \times 100$
% de Desvio de Progresso da obra (DP)	$\frac{\% \text{ de avanço real da obra} - \% \text{ de avanço planejado para a obra}}{\% \text{ de avanço planejado para a obra}} \times 100$
% de Desvio de Progresso por atividade	$\frac{\% \text{ de avanço real da atividade} - \% \text{ de avanço planejado para a atividade}}{\% \text{ de avanço planejado para a atividade}} \times 100$
% de Atividades Iniciadas no Período Previsto (AIPP)	$\frac{\text{Número de atividades planejadas iniciadas no período previsto}}{\text{Total de atividades planejadas para o período}} \times 100$
% de Atividades Concluídas na Duração Prevista (ACDP)	$\frac{\text{Número de atividades planejadas concluídas na duração prevista}}{\text{Total de atividades planejadas no período}} \times 100$
% de Atividades Reservas Executadas (ARE)	$\frac{\text{Número de atividades executadas não planejadas para o período}}{\text{Total de atividades executadas no período}} \times 100$

Fonte: Elaborado pela autora

Para auxílio às atividades desenvolvidas na Etapa 2, sugere-se ainda o uso de um protocolo para coleta de dados mensais (Figura 29), que foi desenvolvido visando atender às necessidades de informação deste trabalho.



Figura 29 – Modelo do protocolo sugerido para apoio à coleta de dados no médio prazo

Dados gerais da atividade					Controle de datas			
Descrição da atividade	Unidade de produção / controle	Número de unidades a serem produzidas no mês	Detalhamento das unidades	Tipo de equipe executora	Início Planejado	Término Planejado	Início Real	Término Real

Situação da atividade						Status da atividade ao fim do mês		
Início na data prevista	Início em data diferente da prevista	Não iniciou	Término na data prevista	Término em data diferente da prevista	Não terminou	Atividade no prazo	Atividade adiantada	Atividade atrasada

Monitoramento do progresso				
% da atividade planejada	% da atividade executada	Causas dos desvio	Ações mitigadoras	Responsáveis pelas ações

Nota: A planilha foi dividida em 3 seções apenas por motivos de visualização da imagem, mas a mesma é sequencial (único cabeçalho).

Fonte: Elaborado pela autora

### 5.2.3 Etapa 3: Planejamento de Curto Prazo e Acompanhamento dos Pacotes de Trabalho com Apoio de Dados Visuais do Canteiro

Os processos da Etapa 3 iniciam com o desenvolvimento do planejamento de curto prazo da obra, a partir da programação dos pacotes de trabalho a serem realizados na semana. A medida em que vai se aproximando o fim do ciclo de execução programado, é realizada a medição física semanal das atividades internas, e voo com VANT em canteiro para registro de imagens que representam o atual estado das atividades externas. Estas imagens são em seguida processadas em software fotogramétrico (sugerido o Agisoft PhotoScan) para geração dos produtos de nuvem de pontos, ortofoto e modelo 3D texturizado do canteiro.

Com base nos resultados das medições físicas diretas, nas imagens aéreas e nos produtos fotogramétricos da semana é, então, realizado o acompanhamento do cumprimento dos pacotes de trabalho. Os dados visuais das imagens aéreas, ortofoto e modelo 3D texturizado do canteiro apoiam a verificação dos pacotes de trabalho associados às atividades executadas externamente às edificações, enquanto às

medições físicas diretas são necessárias, na estrutura do método proposto, para a verificação dos pacotes de trabalho associados às atividades internas às edificações.

Assim, são identificados os pacotes de trabalho cumpridos e aqueles planejados que não foram concluídos na semana, sendo levantadas as causas dos não cumprimentos. Após tal processo, é então reiniciado o ciclo de curto prazo na semana seguinte. Ao final da última semana do mês, todas essas informações coletadas e dados gerados, inclusive os modelos de nuvem de pontos semanalmente processados, darão suporte ao acompanhamento e controle mensal da obra, ocorrido na Etapa 2, bem como ao planejamento de médio prazo do mês seguinte (Etapa 2).

Para auxílio no planejamento e controle de curto prazo, foi também desenvolvido um modelo geral de protocolo (Figura 30), baseado no formato da planilha de planejamento e controle da produção do sistema *Last Planner*, porém ajustada às necessidades de informação deste trabalho.

Figura 30 – Modelo do protocolo sugerido para apoio ao planejamento e controle de curto prazo

Atividade	Referência do médio prazo e semanas anteriores para acompanhamento		
	Nº de unidades programadas no mês	% da atividade programada para o mês	% da atividade executado nas semanas anteriores (acumulado)

Programação da semana										Controle semanal			
Nº de unidades a serem produzidas na semana	Equipe executora	Responsável	Descrição dos pacotes de trabalho		Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	% do pacote de trabalho executado	Causas do não cumprimento	% da atividade executada na semana
				Plan	Exec	Plan	Exec	Plan	Exec	Plan			
				Plan									
				Exec									
				Plan									
				Exec									

Nota: A planilha foi dividida em 2 seções apenas por motivos de visualização da imagem, mas a mesma é sequencial (único cabeçalho).

Fonte: Elaborado pela autora

### 5.3 IMPLEMENTAÇÕES DO MÉTODO PROPOSTO NOS ESTUDOS DE CASO

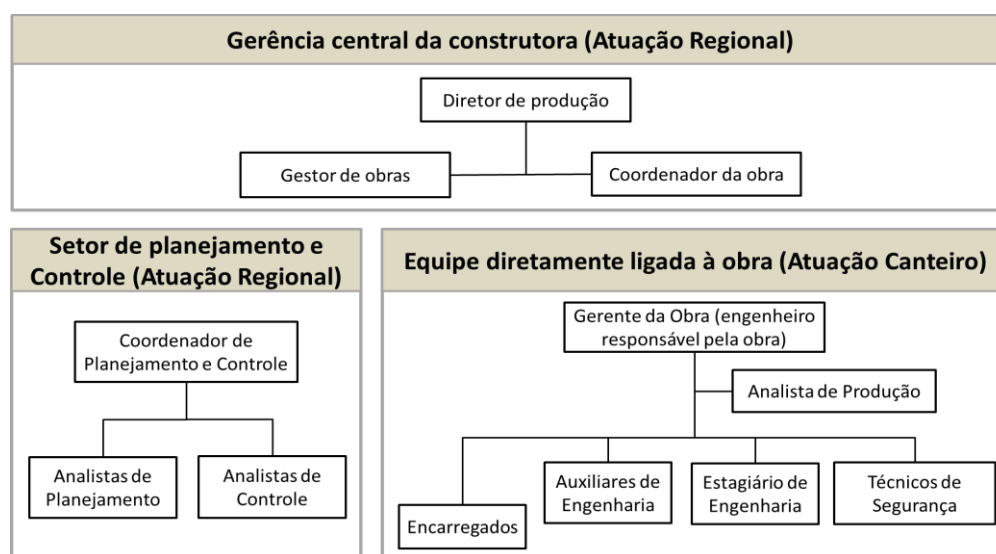
Nesta seção serão apresentados os resultados dos estudos de caso, em relação à caracterização dos sistemas de PCP das obras, descrição da adaptação e implementação do método proposto em cada estudo de caso, e apresentação dos resultados dos indicadores medidos, modelos visuais gerados e causas de desvios de progresso identificadas ao longo das implementações.

### 5.3.1 Estudo de Caso 1: Implementação do Método na Obra A

#### 5.3.1.1 Sistema Original de Planejamento e Controle da Produção (PCP) da Obra A

A partir da atividade de entendimento do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na Obra A, foi possível identificar os três principais setores e equipe gerencial da empresa construtora envolvidos diretamente neste processo, conforme apresentados no organograma da Figura 31.

Figura 31 - Organograma da equipe gerencial da Obra A ligada ao PCP



Fonte: Elaborado pela autora

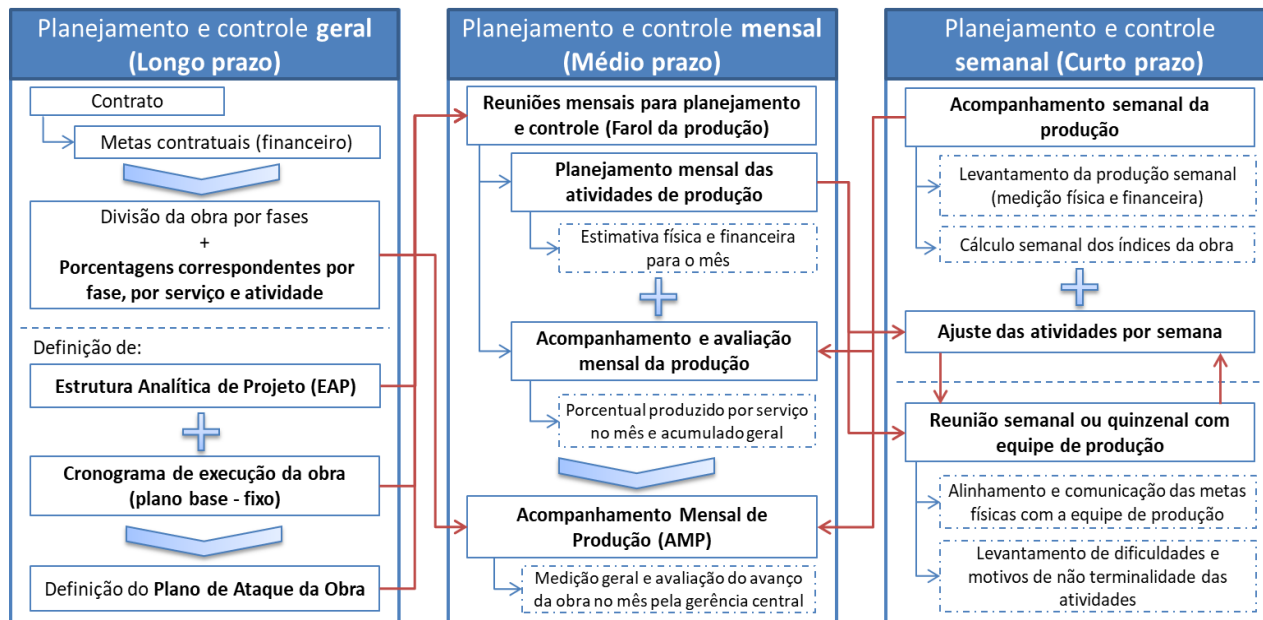
Devido ao porte da empresa, de abrangência nacional, tanto a gerência central, quanto o setor de planejamento e controle são setores externos à obra, e responsáveis por obras da empresa localizadas nos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas. Assim como o setor de planejamento e controle, outros setores também relacionados ao PCP, como o de suprimentos, gerenciamento de custos, qualidade e segurança do trabalho funcionam como setores independentes ligados a diferentes obras da região.

Estes setores possuem apoio específico de funcionários diretamente ligados às obras com poder de decisão, como o técnico de segurança no caso do setor de segurança do trabalho, ou o próprio engenheiro gerente da obra no caso do setor de planejamento e controle. Porém, não há representantes diretos dos setores fixos nas obras, o que influencia na lógica do sistema de PCP adotado na Obra A.

A partir da compreensão por parte da pesquisadora sobre o sistema de PCP adotado, foi desenvolvido o esquema com a estrutura geral do PCP da Obra A (Figura

32), de forma a indicar o fluxo geral de informações gerenciais e procedimentos referentes à cada nível hierárquico de planejamento e controle.

Figura 32 - Estrutura geral do sistema de PCP adotado na Obra A



Fonte: Elaborado pela autora

Como pode ser observado na Figura 32, as etapas gerais do sistema de PCP adotado na Obra A incluem:

- Planejamento e controle geral (longo prazo): definição das metas contratuais e alinhamento destas com as fases da obra, sendo realizado pela gerência central da construtora, com apoio do coordenador de planejamento e controle (representante com maior autonomia dentro do setor de planejamento e controle). Além disso, nesse nível é elaborada a EAP do projeto, o cronograma de execução, e definido o plano de ataque por toda a equipe do setor de planejamento e controle da construtora;
- Planejamento e controle mensal (médio prazo): planejamento mensal detalhado das atividades e estimativa trimestral geral (estimativa física e financeira para o mês seguinte e projeção geral para os outros dois meses seguintes), além do acompanhamento e avaliação mensal da produção. Estas atividades são realizadas em reuniões mensais para planejamento e controle, envolvendo geralmente o analista de planejamento e o de controle responsáveis pela obra, o engenheiro gerente e o analista de produção. Após reunião é divulgado mensalmente no sistema interno da construtora o

Acompanhamento Mensal de Produção (AMP), no qual os setores regionais acompanham a medição e avaliação geral (física e financeira) da obra;

- Planejamento e controle semanal (curto prazo): acompanhamento semanal da produção (relativa à semana anterior) com cálculo de índices, incluindo quantidade total produzida (em percentuais por serviço), produção semanal por pessoa e avaliação da mão de obra em canteiro; juntamente com esquematização da programação (de maneira não estruturada) e ajuste dos serviços a serem executados na próxima semana. Estas atividades acontecem em reunião semanal envolvendo geralmente o engenheiro gerente, o analista de produção e os auxiliares de engenharia da obra.

Como pontos relevantes, foi possível perceber que o sistema adotado não segue a estrutura e procedimentos do sistema *Last Planner* e possui alguns pontos bastante particulares, importantes de serem compreendidos para a adaptação e implementação do método na Obra A.

No PCP dessa obra, o nível hierárquico mais bem estruturado e com processos mais bem definidos é o médio prazo, tendo como principal característica o planejamento e o controle do cumprimento de uma meta de produção mensal (percentual de avanço calculado com base em pesos extraídos do orçamento). Em relação ao longo prazo, apesar de estrutura definida, foi percebido pouco envolvimento da gestão direta da obra na sua elaboração. No curto prazo foi identificada pouca padronização e sistematização do planejamento das atividades, tendo como principal aspecto o acompanhamento e medição dos percentuais produzidos por serviço na semana.

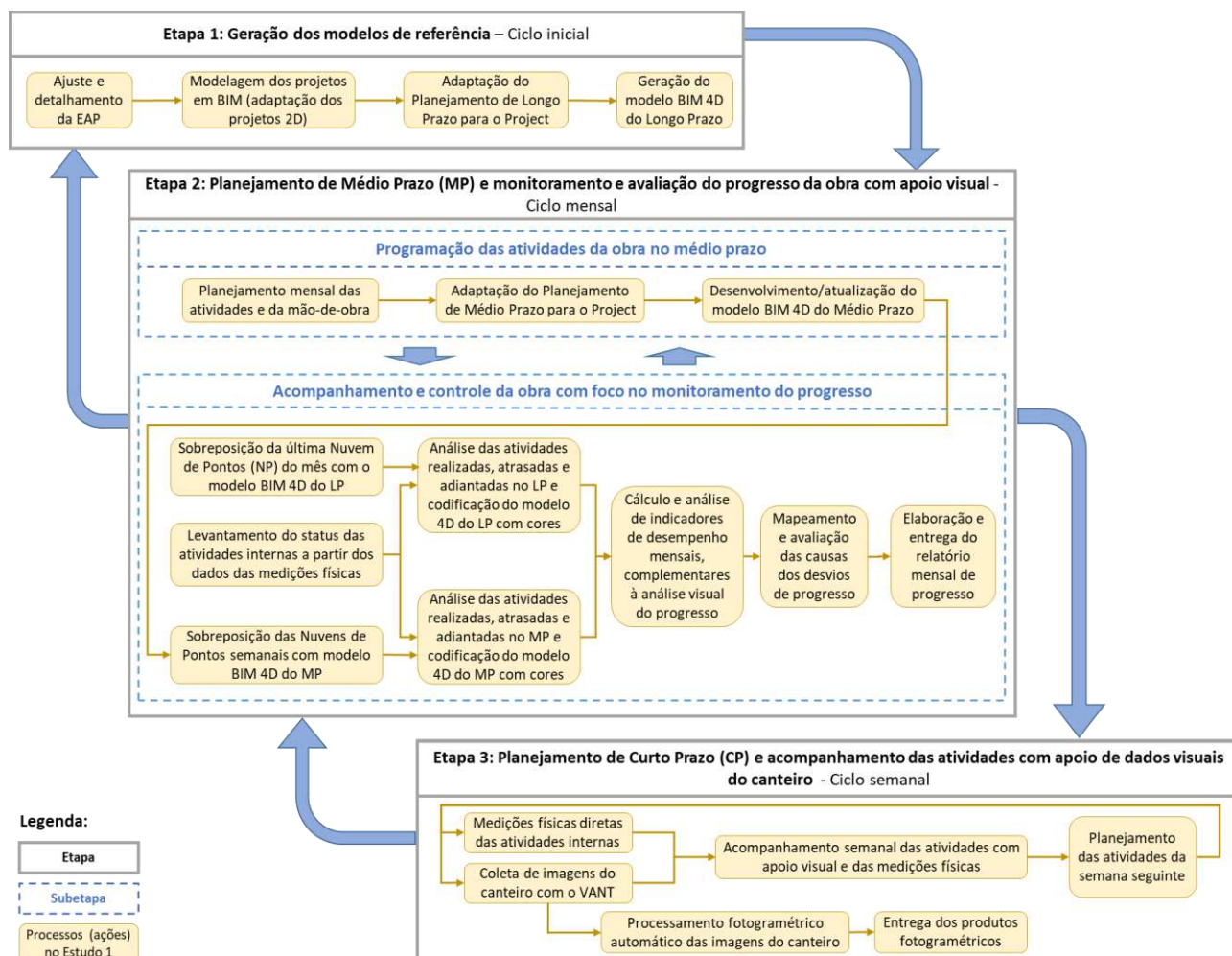
### 5.3.1.2 Adaptação e Implementação do Método no Estudo de Caso 1

Para a implementação do método proposto no Estudo de Caso 1 foi necessário adaptar sua proposta preliminar, ajustando os processos e produtos do método ao perfil gerencial de PCP da Obra A, ao nível de intervenção possibilitado ao estudo e às necessidades e interesses motivados pelos gestores da obra.

A Figura 33 apresenta o esquema com o fluxo de processos que compõem a proposta do método adaptada ao Estudo de Caso 1. Em seguida, é descrita a implementação do método proposto, apresentando os processos desenvolvidos na Obra A, conforme cada uma das três etapas que definem o método. Nesta descrição

são destacadas as principais alterações ou ajustes realizados na proposta preliminar do método para o Estudo 1.

Figura 33 – Fluxo de processos do método proposto adaptados para implementação no Estudo de Caso 1



Fonte: Elaborado pela autora

### Implementação da Etapa 1 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 1

Como foi percebido algumas inconsistências entre a EAP da Obra A e a divisão dos trabalhos adotada no controle das atividades para medição do progresso, na implementação da Etapa 1 foi necessário ajuste da EAP, detalhando alguns itens pela criação de subníveis mais específicos (exemplo apresentado no **Item 5.1.2** deste capítulo). Em seguida, como a construtora da Obra A ainda não possuía o BIM implantado, e também não trabalhava com BIM em nenhum nível de utilização, foram adaptados os projetos 2D e desenvolvido o modelo BIM 3D do empreendimento.

Outro processo desenvolvido na Etapa 1 foi a adaptação do plano de longo prazo da obra, que estava em formato de planilha em Excel (em um modelo próprio da empresa) para um arquivo no Microsoft Project, de forma a ser possível o seu uso para desenvolvimento do modelo 4D. Por fim, a Etapa 1 foi concluída com o desenvolvido o modelo BIM 4D do longo prazo.

Quase todos esses processos foram realizados pela pesquisadora, sem interferência direta da equipe da obra. Somente os ajustes na EAP foram feitos juntamente com a analista de planejamento responsável pela Obra A.

### Implementação da Etapa 2 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 1

Na implementação da Etapa 2, a subetapa de programação das atividades era iniciada pela reunião mensal de planejamento e controle. Nessa reunião, a pesquisadora participava apoiando a equipe da obra na apresentação e análise dos dados do monitoramento do progresso do mês anterior, e os gestores realizavam o planejamento das atividades do mês seguinte.

A partir das informações coletadas nessa reunião, a pesquisadora adaptava o planejamento de médio prazo para arquivo no Microsoft Project, e desenvolvia ou atualizava o modelo BIM 4D do médio prazo. Esse modelo 4D era disponibilizado para que a gerência da obra pudesse utilizar na visualização do planejamento, apoiando o gerenciamento da produção ao longo do mês.

Na subetapa de acompanhamento e controle, os processos de levantamento do status das atividades internas, sobreposição das nuvens de pontos com os modelos BIM 4D, identificação visual do progresso, e codificação dos desvios com indicadores de cores na simulação 4D eram realizados pela pesquisadora, da mesma forma como definido na proposta preliminar do método.

Como peculiaridade de alguns desses processos, nos dois primeiros ciclos mensais de implementação no Estudo de Caso 1 não foi realizada a análise visual do progresso em nível de longo prazo com os modelos sobrepostos. Isso foi devido a reajustes necessários no modelo BIM 4D do longo prazo, por conta de alterações no plano mestre (replanejamento de algumas atividades) realizadas pela equipe gerencial da obra durante o primeiro mês de implementação.

Em relação aos indicadores de desempenho, os indicadores de “Percentual de avanço da obra” e “Percentual de avanço por atividade” já eram medidos pela obra

antes da implementação, com base em pesos extraídos do orçamento. Já os demais indicadores propostos, contemplados na proposta preliminar do método, eram mensalmente calculados pela pesquisadora, sendo disponibilizado o banco de dados com memorial de cálculo.

Após o cálculo dos indicadores, eram então mapeadas as causas dos desvios negativos de progresso mensais. Essas causas, juntamente com os dados dos indicadores, eram organizadas no relatório de progresso mensal em formato A3. No Estudo de Caso 1 não se conseguiu utilizar a plataforma Power BI, sugerida na proposta preliminar do método, pois a equipe da obra, e também a pesquisadora, não tinham muita familiaridade com a ferramenta, além de ter sido considerado pelos gestores que já estaria se testando muitos softwares e ferramentas novas no estudo.

Além disso, neste estudo também não se conseguiu implementar de maneira estruturada o desenvolvimento de plano de ações para desvios de progresso, com o planejamento e acompanhamento formal de ações mitigadoras. Tais ações eram acordadas de maneira não estruturada nas reuniões de planejamento e controle.

Ao final da Etapa 2 eram entregues os modelos 4D sobrepostos (nuvem de pontos e BIM 4D) referentes ao médio e ao longo prazo, com os desvios de progresso codificados com indicadores de cores, juntamente com os relatórios mensais para a equipe de gerencial direta da obra, equipe do setor de planejamento e controle ligada à obra, e ao coordenador geral. Com base em nessas informações proporcionadas pelo método proposto, a equipe gerencial podia avaliar o desempenho da obra em relação ao progresso e usar tais informações como suporte à tomada de decisão.

### Implementação da Etapa 3 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 1

Para desenvolvimento dos ciclos da Etapa 3, a pesquisadora realizava visitas semanais à Obra A (geralmente às sextas-feiras), nas quais eram desenvolvidos quase todos os processos dessa Etapa. Essas visitas eram iniciadas pelos voos com VANT para registro visual de todo o canteiro, realizados pela pesquisadora juntamente com algum observador (membro do grupo de pesquisa GETEC).

Após os voos, era realizada a reunião de planejamento e controle semanal (curto prazo), com participação da pesquisadora, do gerente da obra, analista de produção, auxiliares de engenharia e estagiária. As reuniões de curto prazo iniciavam pelo acompanhamento das atividades, a partir dos dados das medições físicas diretas



realizadas ao longo da semana pelos auxiliares de engenharia e estagiária, além de suporte visual das fotografias aéreas. Nesse acompanhamento eram registradas as atividades executadas na semana e aquelas planejadas não cumpridas, sendo atribuídas as devidas causas dos não cumprimentos pela equipe da obra.

Após esse acompanhamento da produção, eram planejadas as atividades da semana seguinte, pela formalização de um plano de curto prazo (prática implementada nessa obra a partir da aplicação do método proposto). Visto que a obra antes não possuía muita padronização e sistematização do planejamento de curto prazo, esse foi o processo gerencial com maior intervenção e suporte direto da pesquisadora durante a implementação do método o Estudo 1.

Outra mudança estrutural tentada a partir da implementação do método no curto prazo, foi quanto à lógica adotada para divisão do trabalho no planejamento e controle das atividades. Como o sistema de PCP da Obra A não seguia a estrutura do *Last Planner*, não eram definidos semanalmente pacotes de trabalho. Assim, a partir da implementação do método, tentou-se fazer um esforço para alteração da dinâmica de planejamento e controle semanal, planejando e acordando com a equipe de coordenação direta da produção alguns pacotes de trabalho semanais, principalmente para as atividades ligadas às edificações. No entanto, parte das atividades da obra eram ainda planejadas e controladas seguindo a lógica originalmente adotada pela construtora, baseada em percentuais por serviço.

Após a finalização da visita, as imagens aéreas ainda eram processadas em laboratório pela pesquisadora, gerando os produtos fotogramétricos do canteiro. Estes produtos eram entregues para a equipe da obra no início da semana seguinte, para que pudessem ser usados no suporte à coordenação da execução das atividades em canteiro, que ocorria ao longo da semana.

#### *5.3.1.3 Resultados dos Indicadores, Modelos Visuais e Causas de Desvios de Progresso ao Longo da Implementação no Estudo de Caso 1*

A Tabela 2 apresenta os resultados dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no médio prazo, medidos mensalmente no Estudo 1 durante o período de implementação do método proposto.

Ao analisar os resultados dos indicadores de AP, AR e DPMP (Tabela 2), é possível perceber uma evolução positiva da obra em relação ao atendimento das

metas planejadas mensalmente. Ao longo do período de implementação do método, a obra superou atrasos identificados nos três primeiros meses (DPMPs negativos), obtendo percentuais de avanço reais maiores que os planejados nos dois últimos meses, resultando em DPMPs positivos.

Tabela 2 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no médio prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 1

Mês	% de Avanço Planejado (AP)	% de Avanço Real (AR)	% de Desvio de Progresso no Médio Prazo (DPMP)	% de Atividades Iniciadas no Período Previsto (AIPP)	% de Atividades Concluídas na Duração Prevista (ACDP)	% de Atividades Reservas Executadas (ARE)
Abril/2018	9,59%	8,75%	-8,75%	69,57%	30,43%	14,29%
Mai/2018	10,91%	10,75%	-1,43%	77,27%	31,82%	27,50%
Junho/2018	12,70%	9,97%	-21,50%	82,22%	35,56%	3,70%
Julho/2018	8,04%	8,51%	5,81%	91,67%	64,58%	22,54%
Agosto/2018	7,11%	7,66%	7,72%	95,92%	63,27%	24,32%

Fonte: Elaborado pela autora

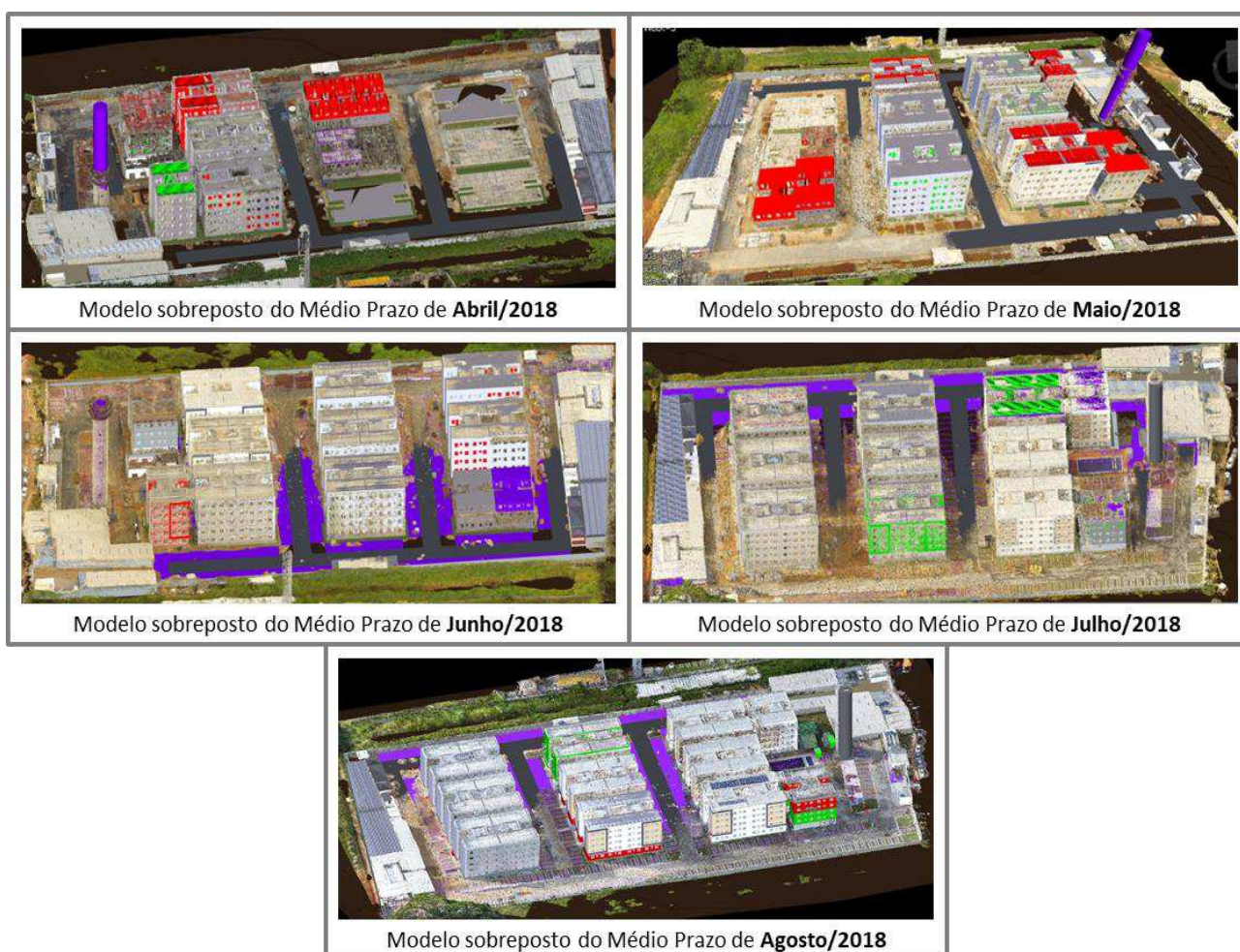
A Figura 34 apresenta o resultado ao final de cada mês dos modelos visuais sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) referentes ao planejamento de médio prazo, com os desvios de progresso codificados por indicadores cores na simulação 4D. Os modelos da Figura 34 também expressam visualmente a evolução positiva da obra no atendimento às metas planejadas e a diminuição de desvios negativos de progresso em atividades externas. Ao longo dos meses é possível notar uma diminuição da quantidade de unidades externas atrasadas, destacadas em vermelho nos modelos, principalmente nos dois últimos meses.

Quanto aos indicadores de AIPP e ACDP, os valores apresentados na Tabela 2, também indicam melhorias durante a implementação do método no Estudo 1. O aumento gradativo do indicador de AIPP ao longo dos meses representa melhorias na compatibilização entre as atividades planejadas no médio prazo e as atividades efetivamente executadas mensalmente no canteiro. Já o aumento do ACDP representa melhorias na compatibilização entre o volume planejado para as atividades e a capacidade total de produção mensal do canteiro.

Para o indicador de ARE é possível perceber que, na maioria dos meses, o seu valor esteve em torno de 25% de atividades reservas executadas (Tabela 2). Sua análise em conjunto com os demais indicadores permite entender melhor o comportamento da produção em cada mês. Em maio, por exemplo, observa-se pelos

dados da Tabela 2 que boa parte da diminuição geral do desvio de progresso negativo, provavelmente esteve ligada à parcela significativa de atividades reservas executadas no mês (27,50%), já que o valor do indicador de ACDP não foi alto (31,82%). Em junho, que foi o mês de maior desvio negativo de progresso (-21,50%), também foi o mês de menor ARE (3,70%). Já nos dois últimos meses, é possível observar que as atividades reservas também influenciaram nos valores positivos de DPMP.

Figura 34 - Modelos sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) **referentes ao médio prazo**, com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D



Nota: Indicadores de cores da simulação 4D: atividades atrasadas aparecem em vermelho; atividades adiantadas aparecem em verde; atividades que estão sendo executadas de acordo com o planejamento aparecem em roxo; e atividades já concluídas são mostradas com a aparência real.

Fonte: Elaborado pela autora

De maneira complementar às informações dos indicadores apresentados na Tabela 2, é apresentado na Tabela 3 os resultados dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no longo prazo. Tais indicadores se baseiam nos valores acumulados de avanço planejado mensalmente, conforme metas do plano de longo prazo, e valores acumulados de avanço real por mês.

Tabela 3 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra A no longo prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 1

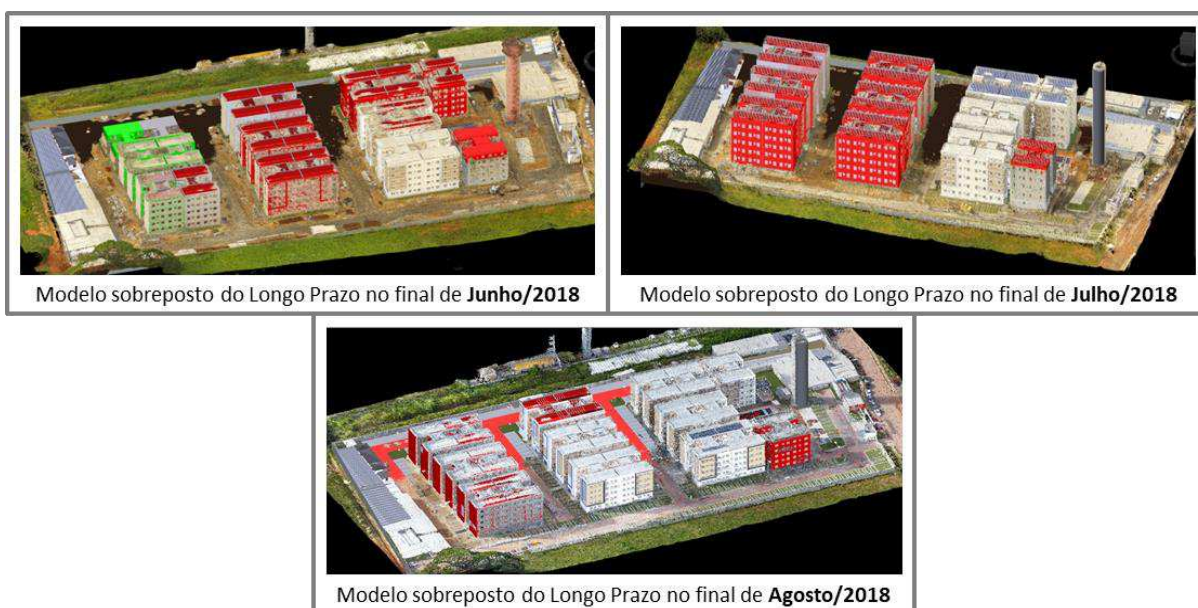
Mês	% de Avanço Planejado Acumulado (APA)	% de Avanço Real Acumulado (ARA)	% de Desvio de Progresso no Longo Prazo (DPLP)
Abril/2018	45,48%	40,33%	-11,31%
Mai/2018	59,66%	51,13%	-14,31%
Junho/2018	73,75%	61,03%	-17,24%
Julho/2018	85,48%	69,54%	-18,64%
Agosto/2018	93,34%	77,26%	-17,22%

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar os dados dos indicadores na Tabela 3, observa-se um distanciamento ao longo dos meses entre o APA e o ARA, resultando no aumento progressivo do desvio negativo de progresso (DPLP), quanto ao cumprimento das metas do longo prazo. No entanto, a partir do mês de agosto, é possível notar que o incremento mensal do desvio negativo acumulado começa a diminuir.

Tal melhoria observada em agosto quanto ao progresso geral acumulado, que representa uma recuperação positiva da obra, pode ser reafirmada pela observação dos modelos visuais sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) referentes ao planejamento de longo prazo, com os desvios de progresso codificados por indicadores de cor (Figura 35).

Figura 35 - Modelos sobrepostos da Obra A (BIM 4D + nuvem de pontos) referentes ao longo prazo, com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D



Nota: Indicadores de cores da simulação 4D: atividades atrasadas aparecem em vermelho; atividades adiantadas aparecem em verde; e atividades já concluídas são mostradas com a aparência real.

Fonte: Elaborado pela autora

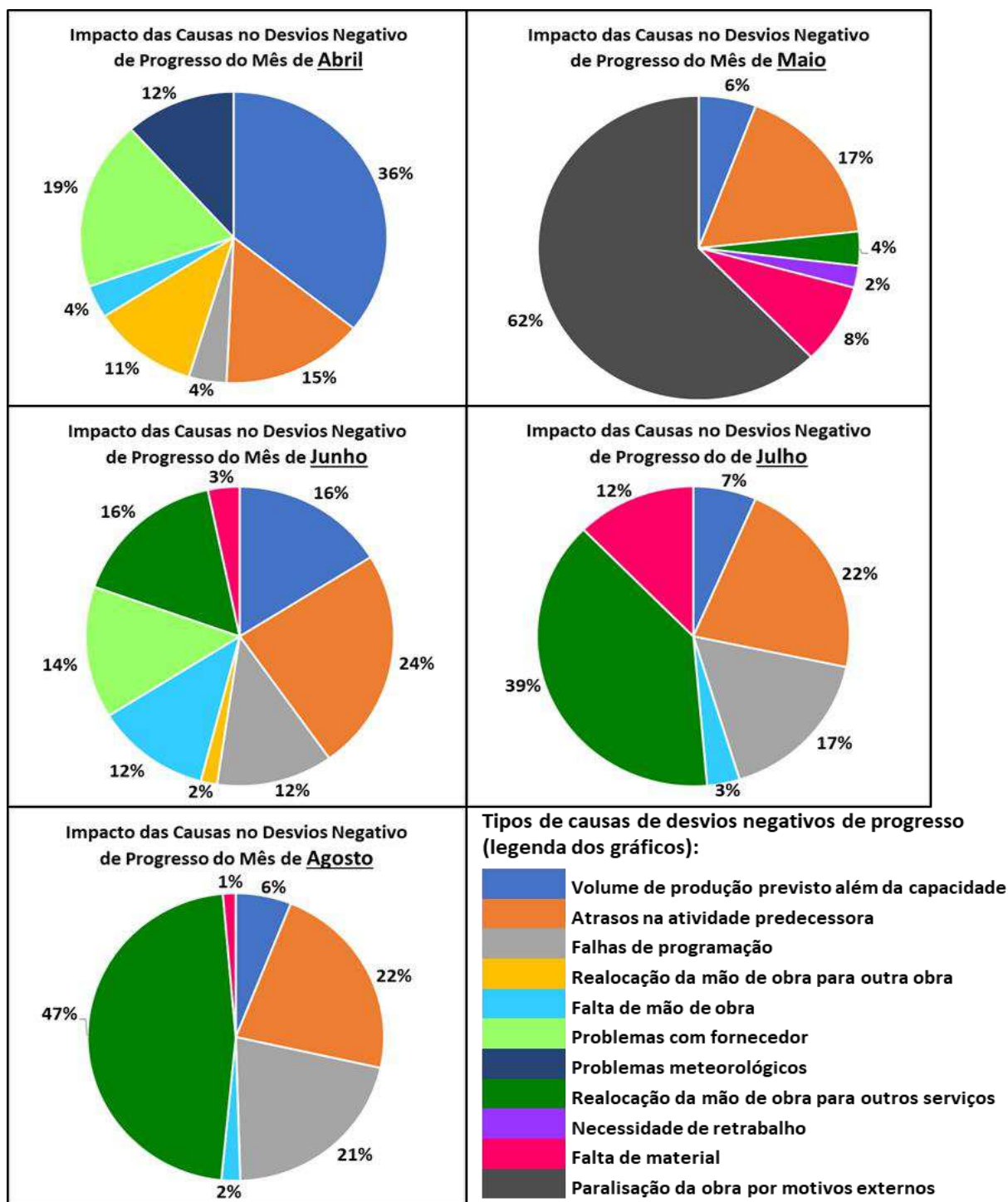
No modelo sobreposto de agosto (Figura 35), pode ser observada a diminuição de unidades externas atrasadas (destacadas em vermelho), em comparação ao modelo visual de julho. Como já comentado e conforme apresentado na Figura 35, na Obra A só foram realizadas análises visuais do progresso em nível de longo prazo com os modelos sobrepostos, nos três últimos meses de implementação do método, por motivos já expostos no **Item 5.3.1.2** deste capítulo.

Além dos dados dos indicadores e modelos visuais gerados, durante a implementação do método proposto na Obra A foram também mensalmente mapeadas as causas de desvios negativos de progresso. As principais causas motivadoras à ocorrência dos desvios negativos de progresso, identificados a partir da implementação do método na Obra A, foram:

- Planejamento: associado ao desbalanceamento entre o volume de produção previsto para o mês e a capacidade de produção real da obra (número de funcionários e/ou produtividade da equipe). Além disso, inclui também outras falhas de programação e atrasos em atividades predecessoras;
- Mão de obra: incluem realocação da mão de obra responsável por uma atividade para a execução de outras atividades, realocação de equipes da obra para outras obras da construtora, e falta de mão de obra por problemas de contratação e absenteísmos;
- Fornecedores e materiais: incluem falta de materiais por problemas com a programação de pedidos, pedidos a menos do que a quantidade necessária, ou problemas com fornecedores, como atrasos ou a não entrega de materiais;
- Retrabalhos: associado ao deslocamento de equipes e gasto de materiais com reparos de unidades executadas que não atingiram a qualidade e desempenho esperados. Na grande maioria das vezes, a necessidade de retrabalho não era considerada na elaboração dos planos (planejamento de médio e longo prazo), resultado em atrasos e desvios negativos de progresso;
- Problemas meteorológicos ou outros problemas externos: incluem a impossibilidade de execução devido às chuvas e interferências nas atividades da obra por problemas externos, como greves e outras ocorrências as quais os intervenientes diretos da obra não possuem controle.

A Figura 36 apresenta gráficos com a especificação dos tipos de causas de desvios negativos identificadas em cada um dos meses de implementação do método na Obra A, e os resultados do impacto percentual de cada um desses tipos de causas no desvio negativo de progresso total medido mensalmente.

Figura 36 - Gráficos mensais com impacto percentual das causas identificadas no total de desvio negativo de progresso da Obra A



Fonte: Elaborado pela autora

Como análises gerais dos dados apresentados na Figura 36, é possível perceber que as causas de desvios negativos de progresso com maior frequência, sendo identificadas em todos os 5 meses estudados, foram “Volume de produção previsto além da capacidade” e “Atrasos na atividade predecessora”. Ambas estão relacionadas ao planejamento e controle da obra, sendo este ainda um dos principais gargalos, apesar das melhorias identificadas a partir da implementação do método. No entanto, a causa do tipo “Volume de produção previsto além da capacidade” teve seu impacto percentual no desvio negativo mensal diminuído ao longo dos meses. Outras causas que aparecem com frequências significativas nos gráficos da Figura 36, em 4 dos 5 meses, são “Falta de mão de obra”, “Falta de material”, “Falhas de programação” e “Realocação de mão de obra para outros serviços”.

Já as causas com menor frequência observadas nos gráficos da Figura 36, que tiveram ocorrências registradas em apenas um dos 5 meses, incluem: (1) “Problemas meteorológicos”, apenas no mês de abril; (2) “Necessidade de retrabalho”, apenas no mês de maio e com impacto percentual no desvio muito pequeno; e (3) “Paralisação da obra por motivos externos”, também apenas em maio, mas com grande impacto percentual no desvio negativo do mês, referente à paralisação da obra por alguns dias devido à greve nacional dos rodoviários, que ocorreu no Brasil em maio de 2018.

Ao analisar os resultados gerais dos indicadores (especialmente os do médio prazo), modelos visuais gerados e causas de desvios de progresso identificadas ao longo das implementações, é possível observar uma certa melhoria quanto ao atendimento às metas planejadas e diminuição dos desvios negativos na Obra A. Acredita-se que tal melhoria observada esteve possivelmente relacionada a três principais mudanças observadas nos processos de planejamento e controle da obra.

A primeira mudança pode ser atribuída a uma melhor estruturação dos processos de planejamento no nível de curto prazo. No qual foram estabelecidas rotinas de planejamento com suporte de protocolo estruturado para programação das atividades, além de um controle mais sistemático e mais focado na identificação das causas de não cumprimentos e discussão de possíveis correções.

A segunda mudança pode ser atribuída à intensificação da participação da equipe de coordenação direta da produção no planejamento e controle, participando ativamente nas reuniões de curto prazo, bem como maior engajamento e colaboração de toda a equipe gerencial da obra, a partir da implementação dos processos

propostos pelo método. Tal participação e engajamento proporcionou inclusive o desenvolvimento de planejamentos com estimativas e análises mais realistas das metas de produção, promovendo resultados positivos.

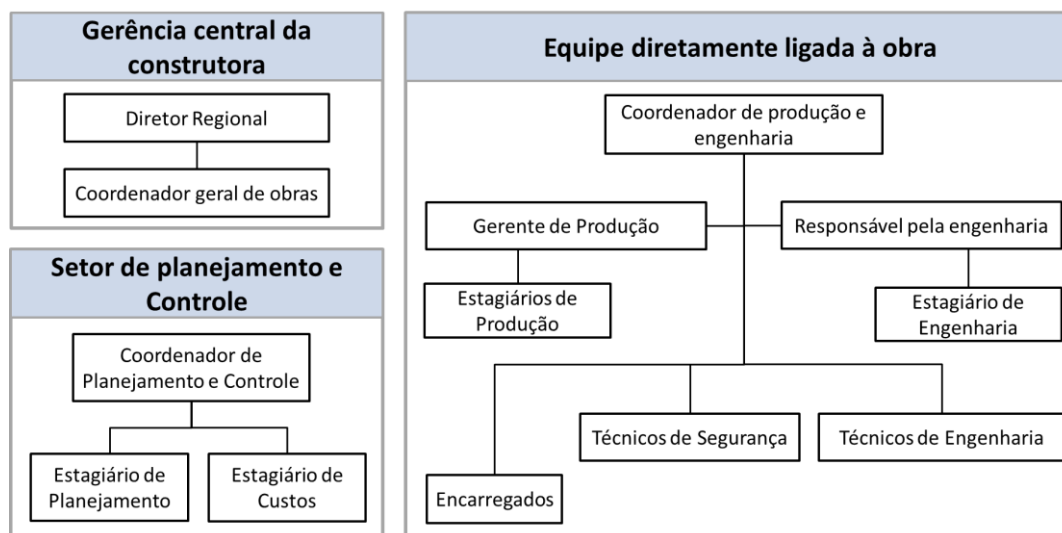
Por fim, a terceira mudança pode ser decorrente da resposta positiva da equipe da obra quanto ao uso dos produtos propostos pelo método, tanto os produtos visuais quanto os indicadores e análise de causas dos desvios de progresso, buscando de fato usar as informações proporcionadas pelos mesmos, agregado valor aos processos gerenciais ligados ao monitoramento do progresso.

### 5.3.2 Estudo de Caso 2: Implementação do Método na Obra B

#### 5.3.2.1 Sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) da Obra B

A partir do entendimento do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na Obra B, foi possível identificar a equipe gerencial da empresa construtora envolvida diretamente neste processo, conforme apresentada no organograma da Figura 37.

Figura 37 - Organograma da equipe gerencial da Obra B ligada ao PCP



Fonte: Elaborado pela autora

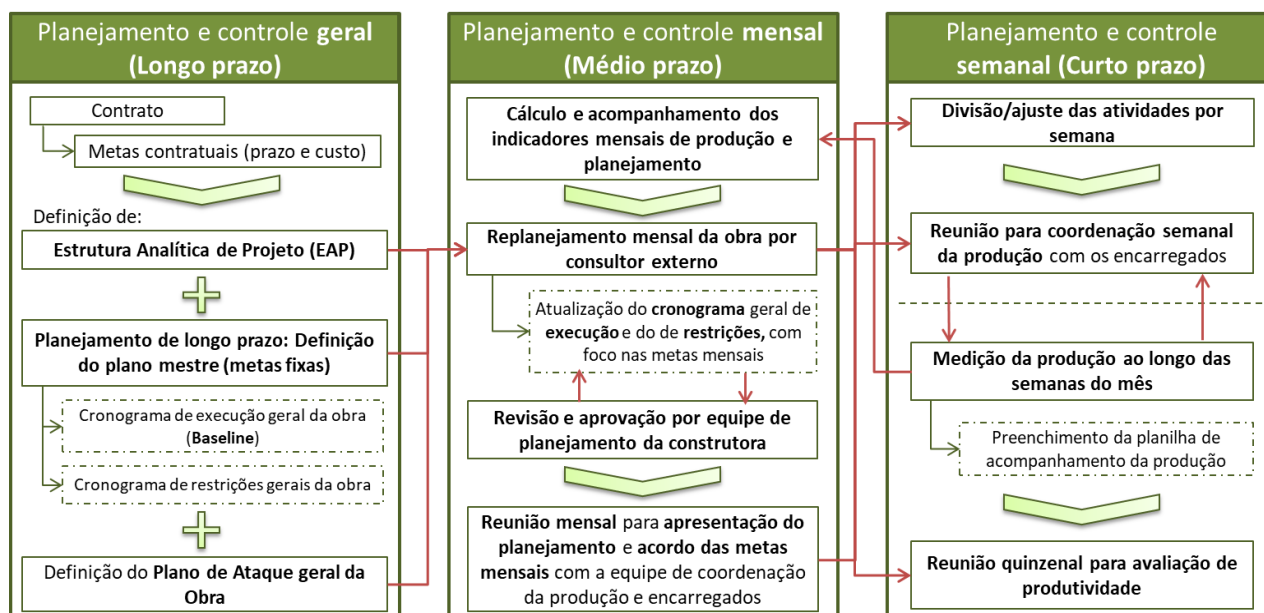
A empresa da Obra B, apesar de também possuir atuação nacional, encontrava-se em processo de retração, com diminuição do escopo e da atuação para reestruturações internas em função da situação corrente da economia e do mercado brasileiro. Por conta disso, durante a realização do Estudo 2, a empresa possuía apenas a Obra B no estado da Bahia, estando boa parte das equipes gerenciais da construtora voltadas para esta obra.



Ainda assim, a partir do mapeamento da estrutura organizacional das equipes foi possível identificar: (a) uma equipe gerencial mais diretamente ligada à obra, atuando diariamente no canteiro; (b) a equipe do setor de planejamento e controle externa ao canteiro, mas que concentrava grande parte da sua atuação em atividades da obra; e (c) a gerência geral, que mesmo sendo o setor mais distante do canteiro, possuía o coordenador geral de obras diretamente atuante neste empreendimento.

Também foi desenvolvido o esquema com a estrutura geral do PCP da Obra B com base na compreensão da presente autora (Figura 38), de forma a indicar o fluxo de informações gerenciais e procedimentos referentes à cada nível hierárquico de planejamento e controle (mapeamento do processo).

Figura 38 - Estrutura geral do sistema de PCP adotado na Obra B



Fonte: Elaborado pela autora

Como pode ser observado na Figura 38, as etapas gerais do sistema de PCP adotado na Obra B incluem:

- Planejamento e controle geral (longo prazo): inicia pela definição das metas contratuais. Em seguida são definidos a EAP, o planejamento de longo prazo (*Baseline*) e o plano de ataque geral da obra. Todas estas atividades são realizadas pelas equipes da gerência geral e coordenadora do setor planejamento e controle. Somente na elaboração do plano de longo prazo é também envolvida uma consultora externa, responsável por desenvolvimento do cronograma geral de execução da obra e do cronograma de restrições

gerais (ambos em arquivos no Project), a partir de estruturação prévia do plano e decisões da equipe da construtora.

- Planejamento e controle mensal (médio prazo): inclui principalmente o cálculo e acompanhamento de indicadores mensais de produção e de planejamento referentes ao mês anterior, e replanejamento mensal da obra. Nesse replanejamento é realizada uma atualização completa do plano inicial de longo prazo, considerando as atividades que ainda restam ser executadas até o final da obra, além de detalhar melhor o plano, subdividindo atividades quando necessário. Esse replanejamento também é realizado pela empresa consultora externa, mantendo como referencial fixo o prazo final da obra. Em seguida, o plano é revisado pelo setor de planejamento e controle da construtora e aprovado, ou retornado para a consultora para revisão. A partir desse plano atualizado, são extraídas as metas mensais de produção, que são apresentadas e acordadas numa reunião mensal envolvendo toda a equipe gerencial direta da obra, inclusive os encarregados.
- Planejamento e controle semanal (curto prazo): inicia pela divisão ou ajuste semanal das atividades planejadas para o mês, realizado pelo coordenador e pelo gerente de produção. Essas divisões servem de base para as reuniões semanais de coordenação da produção, que envolvem encarregados, técnicos e estagiários. Ao longo das semanas é realizada também a medição semanal da produção, com preenchimento de planilha padrão da empresa. Acontecem ainda, quinzenalmente, reuniões com o setor de planejamento e controle e equipe direta da obra para avaliação de produtividade.

Assim como na Obra A, o sistema de PCP adotado na Obra B não segue a estrutura e procedimentos do sistema *Last Planner*. A construtora possui um PCP muito próprio, com procedimentos, padrões e protocolos internos. Pelo mapeamento do processo, pode-se notar que tanto o longo quanto médio prazo são níveis bem estruturados, com processos bem definidos. Como pontos peculiares, pode-se destacar a participação da empresa consultora externa e o replanejamento mensal de todas as atividades da obra. Já o curto prazo, apesar de possuir como ponto positivo a integração dos técnicos e encarregados nas tomadas de decisões semanais, foi inclusive destacado pelos próprios membros do setor de planejamento e controle nas

entrevistas, que este seria o nível menos estruturado, com processos pouco padronizados e sistematizados em relação ao planejamento.

### *5.3.2.2 Adaptação e Implementação do Método no Estudo de Caso 2*

Para a implementação do método proposto no Estudo de Caso 2, também foi necessário adaptar sua proposta preliminar, ajustando os processos e produtos do método, principalmente em relação ao nível de intervenção e às necessidades e interesses motivados pelos gestores da Obra B.

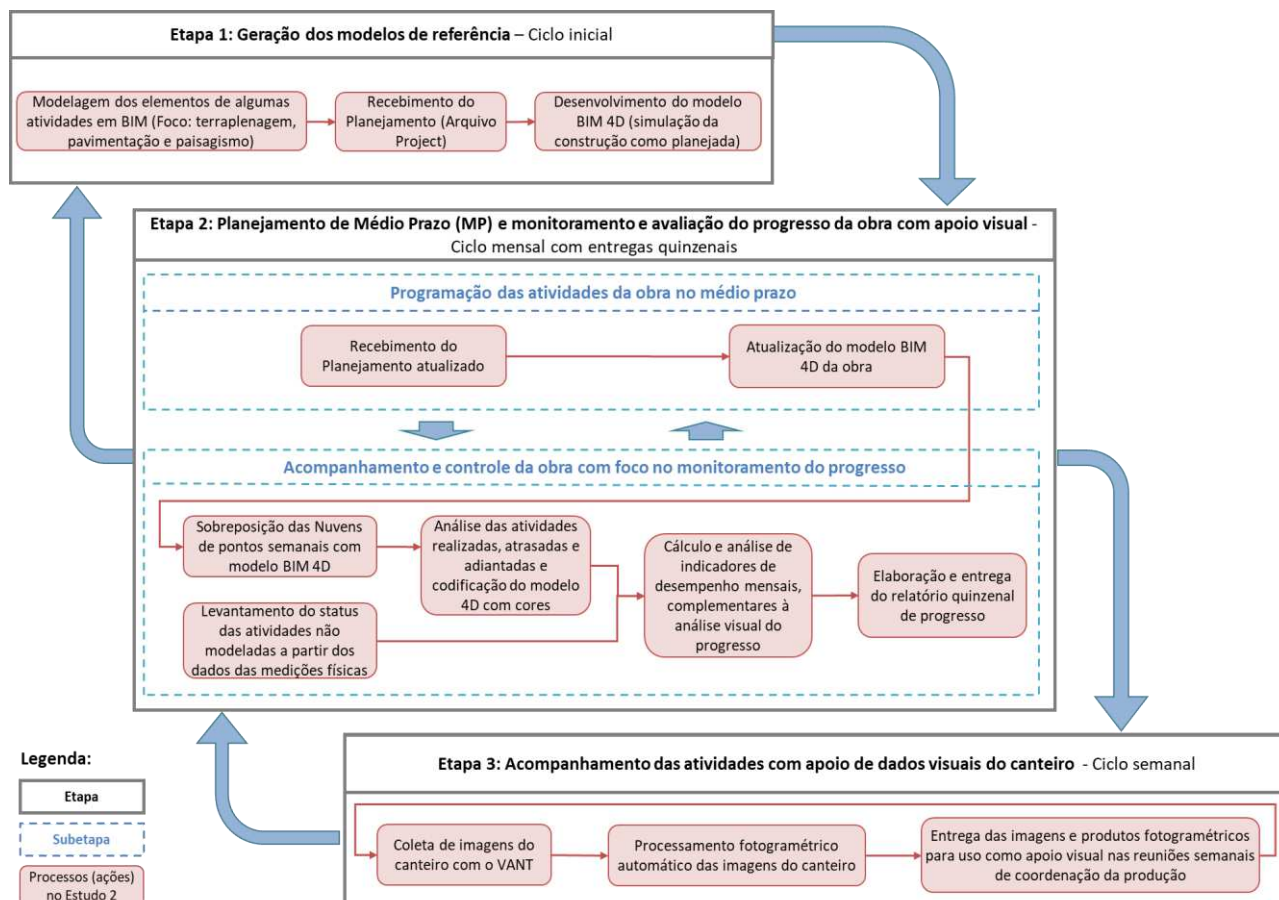
Como principal característica da implementação do método no Estudo de Caso 2, que o diferencia sobretudo do Estudo de Caso 1, foi o caráter menos intervencionista e mais observacional da atuação da pesquisadora nos processos gerenciais. Isso se deve às características gerenciais da empresa construtora, ao sistema de PCP da obra, ao nível de intervenção possibilitado pela equipe gerencial ao estudo, e ao perfil mais curto do Estudo 2. Sendo assim, esse Estudo 2 foi desenvolvido como forma de complementar o Estudo 1, buscando avaliar a aplicação de alguns processos do método e uso das tecnologias propostas em um contexto real diferente, com um perfil de obra e canteiro com características diferentes, e numa outra empresa, com outro sistema de PCP e práticas gerenciais.

A Figura 39 apresenta o esquema com o fluxo de processos que compõem a proposta do método adaptada ao Estudo de Caso 2. Em seguida, é também descrita a implementação do método proposto, apresentando os processos desenvolvidos na Obra B, conforme cada uma das três etapas que definem o método.

#### Implementação da Etapa 1 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 2

A implementação da Etapa 1 no Estudo 2 iniciou com a modelagem BIM de algumas atividades de interesse para o estudo, a partir dos projetos 2D da obra. Assim como a construtora da Obra A, a construtora da Obra B ainda não possuía o BIM implantado. Porém, nesse caso, notou-se um interesse inicial da empresa e realização de alguns testes. A construtora já havia tentado desenvolver um estudo piloto de modelagem BIM em outro empreendimento e, nessa obra, algumas das edificações da área comum do condomínio estavam sendo modeladas, ainda em nível de desenvolvimento do modelo para familiarização e testes, sem nenhuma utilização concreta para a construção e ainda não substituindo nenhum dos projetos 2D.

Figura 39 - Fluxo de processos do método proposto adaptados para implementação no Estudo de Caso 2



Fonte: Elaborado pela autora

O modelo 3D desenvolvido focou na modelagem das atividades e elementos mais representativos para o monitoramento do progresso com apoio visual. Em vista do seu curto tempo de implementação e com o objetivo de testar a potencialidade das tecnologias propostas a partir do seu uso em um canteiro amplo, com atividades espalhadas pela sua área, focou-se na modelagem de elementos ligados às atividades com execução externa. Tais atividades incluíram, principalmente, terraplenagem (modelagem de terreno), pavimentação (modelagem das camadas e acabamentos de pavimentação), e paisagismo. Estas foram consideradas como as atividades de maior potencial para visualização e análise a partir do mapeamento 3D.

Em seguida, como a obra já possuía EAP compatibilizada entre planejamento e medição da produção, e o planejamento já era feito utilizando o Project, este arquivo era recebido pela pesquisadora para elaboração do BIM 4D. Na elaboração do modelo 4D foram filtradas do planejamento apenas as atividades modeladas para simulação.

Todos os processos da Etapa 1 do Estudo 2 foram realizados pela pesquisadora, sem interferência direta da equipe da obra.

### Implementação da Etapa 2 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 2

Na implementação da Etapa 2, a subetapa de programação das atividades era iniciada pelo recebimento da versão mensal atualizada do planejamento da obra. A partir do mesmo, a pesquisadora atualizava o modelo BIM 4D, com foco na simulação 4D das metas planejadas para o mês seguinte. Essa simulação 4D era disponibilizada para a equipe gerencial da obra, como apoio à visualização do planejamento mensal.

A subetapa de acompanhamento e controle iniciava pela sobreposição das nuvens de pontos semanais ao modelo BIM 4D, seguida pela análise visual do progresso, e codificação dos desvios com indicadores de cores na simulação 4D. Todos esses processos eram realizados pela pesquisadora, seguindo os mesmos procedimentos e ferramentas definidos na proposta preliminar do método.

Como peculiaridade desse estudo, visto que a obra tinha todas as suas atividades replanejadas mensalmente, a equipe gerencial da mesma não considerou relevante a utilização de dois níveis de modelo BIM, um relacionado ao plano de longo prazo e outro ao médio prazo, como proposto originalmente no método. Assim, foi desenvolvido no Estudo 2 apenas um modelo BIM 4D para o monitoramento visual do progresso, que era mensalmente atualizado e analisado em sobreposição às nuvens de pontos, em função, respectivamente, da atualização do planejamento e do progresso real registrado visualmente em canteiro a cada mês.

Além das análises visuais do progresso das atividades modeladas, as demais atividades tinham seus status de progresso levantados a partir dos dados das medições físicas diretas, realizadas pela equipe da obra. Com os dados completos do status de progresso das atividades, eram então calculados e analisados os indicadores de desempenho, pela pesquisadora.

Diferentemente do Estudo 1, a equipe gerencial da Obra B não manifestou interesse quanto aos indicadores de desempenho propostos, pois a empresa já possuía sistema de medição de desempenho próprio, que era considerado por eles como satisfatório. No entanto, como não foi possibilitado acesso aos dados dos indicadores da empresa, optou-se por também calcular os indicadores propostos pelo método no Estudo de Caso 2, visando uma avaliação complementar do desempenho

da Obra B conforme as mesmas condições de avaliação do Estudo 1. Os dados dos indicadores eram enviados à equipe gerencial da obra, incluídos nos relatórios de progresso entregues, apenas como forma de registro e informação complementar.

Como último processo da Etapa 2 eram elaborados e entregues relatórios quinzenais com os dados do monitoramento do progresso da obra. A opção por relatórios quinzenais, e não mensais, foi um acordo com a equipe da obra, visando atualizações sobre o progresso ao longo do mês para a gerência que não fica no canteiro, já que o processo de planejamento e controle de curto prazo não eram tão bem estruturado e não possuía intercâmbio de informações com a equipe gerencial externa antes do envio dos dados finais de produção mensal. Outro fato que também influenciou nessa decisão dos relatórios quinzenais, foi a impossibilidade de uma intervenção gerencial direta do método nos processos de curto prazo, o que poderia, de certa forma, suprir essa necessidade de intercâmbio de informações motivada.

A versão dos relatórios quinzenais entregues no meio do mês incluía a representação visual das metas planejadas (modelo BIM), evidenciadas por semana, e o resultado visual dos modelos sobrepostos (nuvens de pontos e BIM 4D) com indicadores de cores, relativo às duas primeiras semanas. Já a versão entregue no final do mês incluía ainda o resultado visual dos modelos sobrepostos das quatro semanas, os dados dos indicadores medidos e a simulação 4D do mês seguinte, gerada a partir do arquivo do planejamento atualizado, já entregue pela consultora externa, mas ainda não apresentado na reunião mensal com equipe da obra. Os dados visuais apresentados nesses relatórios eram principalmente utilizados pela equipe gerencial do setor de planejamento e controle, mas também como apoio visual para apresentação das metas mensais nas reuniões de apresentação e acordo do planejamento mensal com equipe de coordenação da produção e encarregados.

Um importante processo da Etapa 2 da proposta do método, que não foi possível implementar nesse Estudo de Caso, foi o mapeamento e avaliação das causas dos desvios negativos de progresso. Isso se deve ao nível de intervenção e participação gerencial proporcionado ao estudo, que não permitiu sua realização.

### Implementação da Etapa 3 do Método Adaptada ao Estudo de Caso 2

Para desenvolvimento dos ciclos da Etapa 3 no Estudo 2, a pesquisadora também realizava visitas semanais à Obra B (geralmente às quintas-feiras). Nas

visitas, a pesquisadora, juntamente com algum observador membro do grupo de pesquisa GETEC, realizava apenas os voos com VANT para registro visual de todo o canteiro. Em seguida, as imagens aéreas do canteiro eram processadas em laboratório, gerando os produtos fotogramétricos de nuvem de pontos, ortofotos e modelos 3D texturizados da semana.

Esses produtos visuais eram entregues para a equipe da obra até o final da sexta-feira seguinte à visita, para que pudessem ser usados como apoio nas reuniões semanais de coordenação da produção, que aconteciam todas as segundas-feiras de manhã. Essas reuniões semanais não constavam com a participação da pesquisadora, sendo realizadas apenas pela equipe gerencial direta da obra. A seguir é apresentada foto disponibilizada pela equipe da Obra B (Figura 40), que ilustra a utilização de ortofoto do canteiro para suporte à tomada de decisão, em uma das reuniões semanais de coordenação da produção.

Figura 40 - Uso de ortofoto para suporte à tomada de decisão em reunião semanal de coordenação da produção na Obra B



Fonte: Equipe gerencial da Obra B

### *5.3.2.3 Resultados dos Indicadores e Modelos Visuais de Progresso ao Longo da Implementação no Estudo de Caso 2*

A Tabela 4 apresenta os resultados dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B no médio prazo, medidos mensalmente no Estudo 2 durante o período de implementação do método proposto.

Ao analisar os resultados dos indicadores de AP, AR e DPMP (Tabela 4), é possível perceber uma pequena evolução geral positiva da obra em relação ao atendimento das metas planejadas mensalmente, reduzindo desvios negativos de

progresso (DPMP negativos), principalmente entre os meses de dezembro e janeiro. É observada uma piora do DPMP entre janeiro e fevereiro, mas nada que fosse identificado como representativo.

Tabela 4 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B **no médio prazo**, medidos mensalmente no Estudo de Caso 2

Mês	% de Avanço Planejado (AP)	% de Avanço Real (AR)	% de Desvio de Progresso no Médio Prazo (DPMP)	% de Atividades Iniciadas no Período Previsto (AIPP)	% de Atividades Concluídas na Duração Prevista (ACDP)	% de Atividades Reservas Executadas (ARE)
Dezembro/2018	13,56%	10,06%	<b>-25,81%</b>	48,40%	28,80%	18,24%
Janeiro/2019	16,51%	14,84%	<b>-10,12%</b>	66,53%	61,51%	25,35%
Fevereiro/2019	16,49%	14,69%	<b>-10,92%</b>	62,41%	53,10%	36,49%

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 41 apresenta o resultado (ao final de cada mês) dos modelos visuais sobrepostos da Obra B (BIM 4D + nuvem de pontos), com os desvios de progresso codificados por indicadores cores na simulação 4D. Como a área deste projeto é muito grande e as nuvens de pontos geradas no Estudo 2 são um pouco mais densas que as do Estudo 1, a visualização dos modelos da Obra B, quando sobrepostos (BIM 4D + nuvem de pontos), só permite identificar os indicadores de cores associados aos elementos do modelo BIM com um certo nível de zoom. Assim, para que fosse possível a visualização completa do modelo da Obra B nas imagens, com a observação do status das atividades externas pelos indicadores visuais de cores, na Figura 41 são apresentadas duas vistas da simulação 4D para cada mês, uma com a sobreposição da nuvem de pontos ao BIM 4D e outra somente com o BIM 4D.

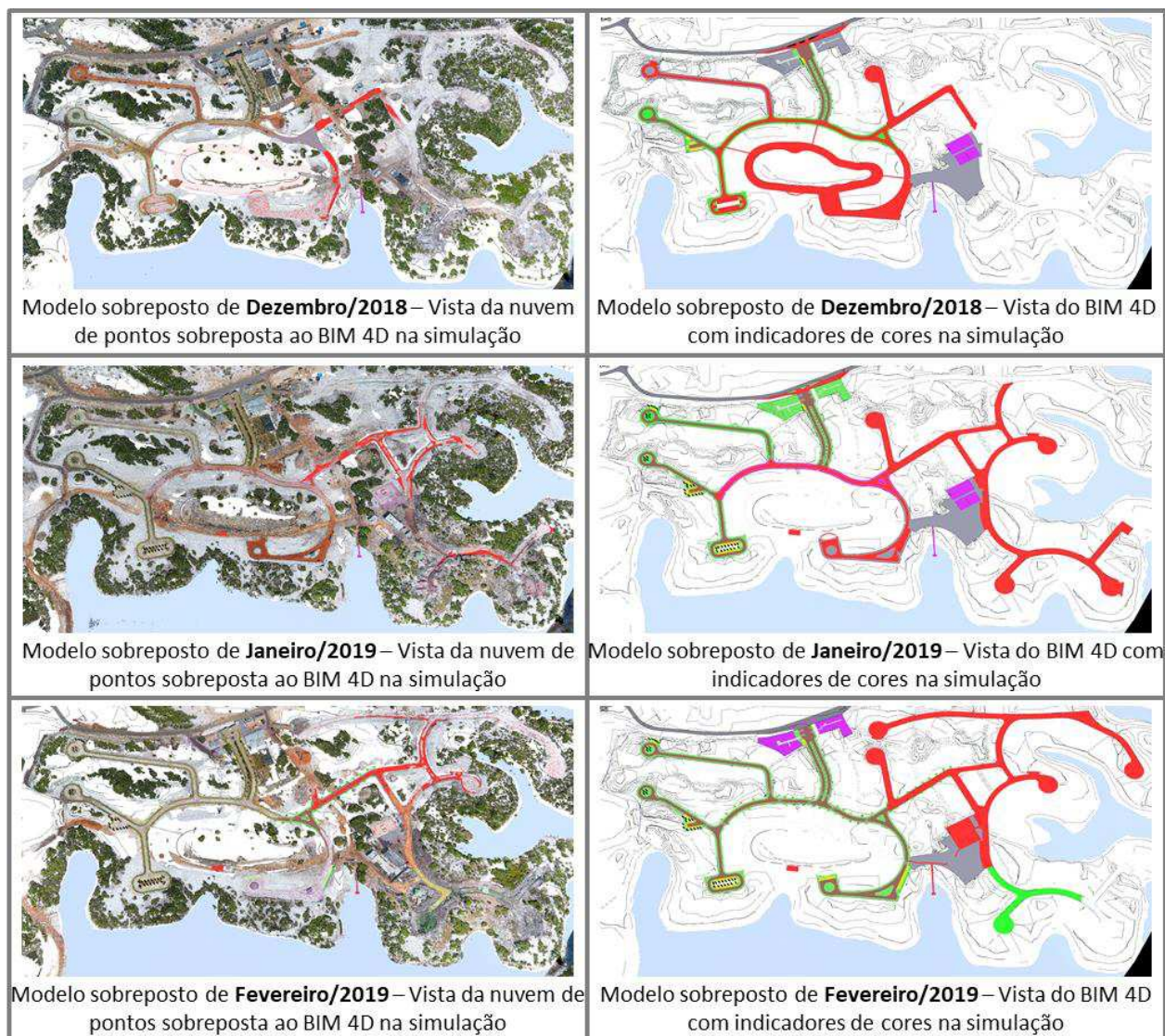
Ao analisar os dados visuais do progresso das atividades externas, ilustrados na Figura 41, é possível observar uma recorrência de unidades ligadas aos serviços de pavimentação atrasadas mensalmente (unidades em vermelho). No entanto, é possível observar também uma leve diminuição da quantidade de unidades atrasadas no mês de fevereiro, e destaque para o adiantamento dos serviços de pavimentação de uma das ruas, inicialmente não planejado para o mês. Tal adiantamento esteve ligado a reestruturações adotadas no plano de ataque do serviço.

Acredita-se que esta evolução visualmente percebida, que também tem relação com a evolução geral dos indicadores comentada, traduz a estratégia adotada pela obra durante os dois últimos meses de implementação do método. Apesar de



unidades atrasadas identificadas em todos os meses, nas participações das reuniões mensais para apresentação e acordo do planejamento, percebeu-se um esforço da equipe da obra no ajuste de sua produção, de maneira a buscar de fato o atendimento das metas planejadas e diminuição dos desvios de progresso.

Figura 41 - Modelos sobrepostos da Obra B (BIM 4D + nuvem de pontos) com indicadores de cor para desvios de progresso na simulação 4D



Fonte: Elaborado pela autora

Quanto aos indicadores de AIPP e ACDP, os valores apresentados na Tabela 4 também apresentaram evolução geral positiva, representando uma melhoria da compatibilização entre as atividades planejadas e aquelas efetivamente executadas mensalmente no canteiro (aumento do AIPP), e melhoria da compatibilização entre o volume planejado para as atividades e a capacidade total de produção mensal do canteiro (aumento do ACDP). Assim como para os outros indicadores comentados

anteriormente, o AIPP e ACDP também apresentaram uma diminuição pouco significativa entre janeiro e fevereiro. Acredita-se que esta diminuição esteja inclusive relacionada ao aumento mais acentuado do percentual de atividades reservas executadas em fevereiro (indicador ARE), que geralmente apresenta comportamento inverso ao dos indicadores de AIPP e ACDP.

De maneira complementar às informações dos indicadores apresentados na Tabela 4, é apresentado na Tabela 5 os resultados dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B no longo prazo. Tais indicadores se baseiam nos valores acumulados de avanço planejado mensalmente, conforme as metas da versão inicial do planejamento da obra, o plano de longo prazo (*Baseline*), e os valores acumulados de avanço real por mês.

Tabela 5 - Resultado dos indicadores relacionados ao progresso da Obra B no longo prazo, medidos mensalmente no Estudo de Caso 2

Mês	% de Avanço Planejado Acumulado (APA)	% de Avanço Real Acumulado (ARA)	% de Desvio de Progresso no Longo Prazo (DPLP)
Dezembro/2018	63,00%	44,48%	<b>-29,40%</b>
Janeiro/2019	81,00%	59,20%	<b>-26,91%</b>
Fevereiro/2019	91,00%	73,72%	<b>-18,99%</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar os dados dos indicadores na Tabela 5, observa-se uma melhoria gradativa dos desvios negativos de progresso em relação ao avanço acumulado, com uma diminuição significativa desse desvio entre os meses de janeiro e fevereiro (indicador DPLP). Tal melhoria observada em fevereiro, parece indicar uma recuperação geral positiva da obra em relação ao seu planejamento inicial (*Baseline*).

Como já comentado no **Item 5.3.2.2** deste capítulo, no Estudo 2 não foram gerados dois níveis diferentes de modelos BIM 4D. Por isso, as análises referentes ao atendimento das metas planejadas inicialmente no longo prazo foram feitas apenas com base nos indicadores da Tabela 5.

Apesar dessas análises gerais feitas em relação aos resultados dos indicadores e dos modelos visuais da Obra B, de forma a tentar avaliar de alguma maneira o desempenho da obra quanto ao atendimento às metas planejadas, no Estudo de Caso 2 não foi possível uma devida avaliação quanto a este aspecto. Como o tempo de implementação dos ciclos do método na obra foi de somente 3 meses e, principalmente, como a participação da pesquisadora nos processos gerenciais e

acompanhamento das tomadas de decisão da obra foi muito pequena, acredita-se que seria necessário mais tempo de implementação e análises mais fundamentadas para avaliações mais estruturadas a respeito do desempenho da Obra B, como foi, de certa forma, possível no caso da Obra A.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DAS IMPLEMENTAÇÕES DO MÉTODO PROPOSTO COM BASE NOS CONSTRUCTOS DE PESQUISA

Nesta seção serão apresentadas as avaliações dos resultados, obtidos a partir da implementação do método proposto nos Estudos de Caso. Tais avaliações foram realizadas com base nos 5 constructos definidos, e estão agrupadas conforme os seguintes aspectos: (a) Avaliação de impactos na melhoria da dinâmica gerencial de PCP das obras com foco na atividade de monitoramento do progresso, relacionada aos constructos de **Impacto da identificação e avaliação do progresso, Transparência e Colaboração**; e (b) Avaliação da estrutura (processos e produtos) do método proposto, relacionada aos constructos de **Utilidade do método e Facilidade de adoção e integração do método**.

##### 5.4.1 Avaliação de Impactos na Melhoria da Dinâmica Gerencial de PCP das Obras com Foco na Atividade de Monitoramento do Progresso

Nesta seção são apresentados resultados e discussões relacionados à avaliação do **Impacto na identificação e avaliação do progresso, Transparência e Colaboração** nas dinâmicas de gerenciamento das obras. Para tais avaliações foram analisados, principalmente, os resultados de um dos indicadores de desempenho medido nos Estudos de Caso, os resultados das entrevistas realizadas com as equipes das obras, e feedbacks dos mesmos ao longo das implementações.

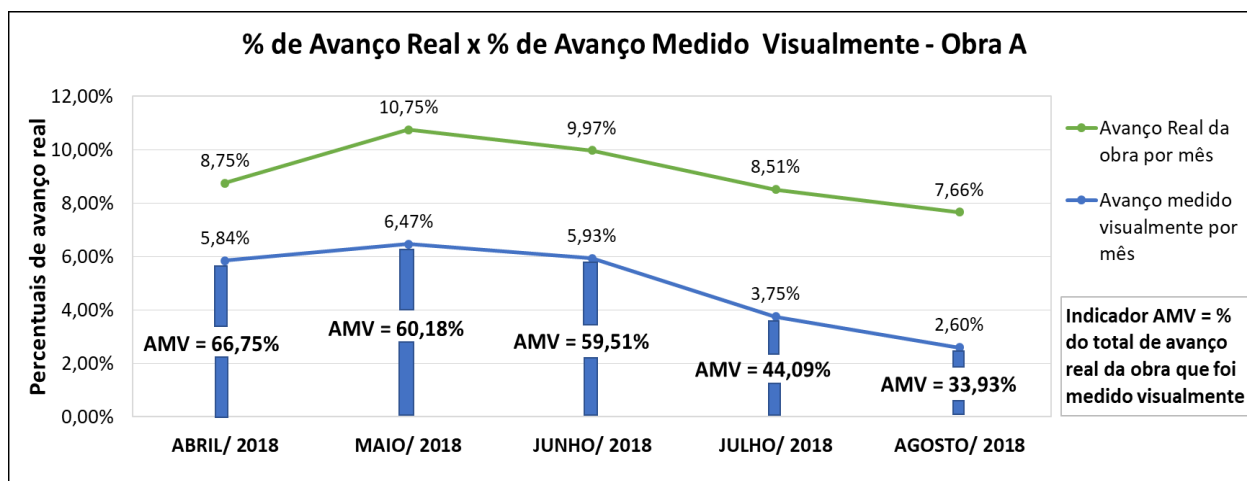
###### 5.4.1.1 *Impacto na Identificação e Avaliação do Progresso da Obra*

###### Avaliação do Estudo de Caso 1 – Obra A

Uma das variáveis avaliadas para este constructo está relacionada ao impacto do mapeamento 3D de canteiro por VANT para a avaliação visual do progresso real das obras, diretamente associado ao indicador de “percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente” (indicador AMV). O gráfico apresentado na Figura 42 mostra os resultados do avanço real da Obra A obtido por mês ao longo da

implementação do método, em comparação ao avanço real medido visualmente por mês, destacando ainda o AMV mensal.

Figura 42 – Comparação entre percentual de avanço real e percentual de avanço medido visualmente da Obra A e valores mensais de AMV (percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente)



Fonte: Elaborado pela autora

Com base nos dados do gráfico da Figura 42 é possível notar que nos três primeiros meses de implementação foram registrados valores de AMV bastante significativos, representando mais de 50% do total de avanço medido em cada mês. No entanto, de forma geral, é perceptível a diminuição progressiva do indicador ao longo dos meses, com diminuição mais acentuada em julho e agosto.

Assim, a partir da análise do comportamento do indicador AMV (Figura 42) é possível perceber que o impacto do mapeamento 3D para a avaliação visual do progresso real da Obra A diminuiu ao longo dos meses. A razão para tal diminuição é que a medida na qual a proporção de atividades executadas internamente aos prédios foi crescendo, tal impacto diminuiu (o indicador foi de 66,75% em abril para 33,93% em agosto), já que o mapeamento 3D com VANT só possibilita a avaliação visual das atividades externas.

Nos meses de julho e agosto o volume de atividades internas na Obra A era bem maior que o de atividades externas. No entanto, a equipe da obra destacou que o uso do mapeamento 3D nos dois últimos meses (AMVs menores que 50% - Figura 42) ainda foi importante para o monitoramento do progresso de atividades relevantes, como pintura de fachada, instalação de telhados, paisagismo e pavimentação.

Além das análises do comportamento do indicador de AMV, a avaliação do **Impacto** do fluxo de informações do método proposto **na identificação e avaliação do progresso** da Obra A foi também realizada com base nos dados das entrevistas, feitas com a equipe gerencial da obra que participou mais ativamente do Estudo 1.

Nas entrevistas, foram avaliadas qualitativamente as seguintes variáveis, de acordo com a escala de três níveis de impacto utilizada (baixo, médio e alto): (1) Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra; (2) Identificação das causas de desvios negativos de progresso; e (3) Mitigação de desvios negativos de progresso com ações corretivas. No Quadro 15 são apresentadas as avaliações dos entrevistados da Obra A quanto ao nível de impacto do método nestas variáveis.

Quadro 15 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao **impacto do método proposto na identificação e avaliação do progresso**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Impacto na identificação e avaliação do progresso da obra	1) Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra		CO1	GO1, AP1, APL1, AC1, EE1, AE1
	2) Identificação de causas de desvios negativos de progresso	CO1	AC1	GO1, AP1, APL1, EE1, AE1
	3) Mitigação de desvios negativos de progresso com ações corretivas		CO1, AE1	GO1, AP1, APL1, AC1, EE1

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CO1 – Coordenado da Obra, GO1 – Gerente da Obra, AP1 – Analista de Produção, APL1 – Analista de Planejamento, AC1 – Analista de Controle, EE1 – Estagiária de Engenharia, AE1 – Auxiliar de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

A maioria dos entrevistados consideraram alto o impacto dos produtos e processos do método proposto nas três variáveis avaliadas, conforme apresentado no Quadro 15. Como complemento à tal resultado, nas respostas da questão subjetiva relacionada à avaliação deste constructo no protocolo de entrevistas, foram ressaltados os seguintes pontos positivos, a partir da implementação do método na Obra A: (a) apoio na identificação de desvios de progresso de maneira mais precisa, realística e detalhada; (b) estruturação do processo de identificação de causas dos não cumprimentos semanais, o que refletiu diretamente na melhoria do rastreamento das causas dos desvios de progresso mensais; (c) melhorias nos direcionamentos para próximos ciclos de planejamento, a partir do status de progresso identificado no ciclo anterior; e (d) melhoria do tempo de reação na tomada de decisão e aplicação de ações corretivas aos desvios negativos dentro do médio prazo.

No entanto, as avaliações que mais chamaram atenção daquelas apresentadas no Quadro 15 foram as do Coordenador da Obra, que avaliou como baixo o impacto na “Identificação de causas de desvios negativos de progresso” e como médio o impacto na “Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra” e “Mitigação dos desvios negativos de progresso com ações corretivas”. Ele comentou que ainda acredita ser necessário uma maior integração e incorporação dos processos e produtos do método aos procedimentos gerenciais da empresa, para que tais variáveis sejam de fato impactadas positivamente.

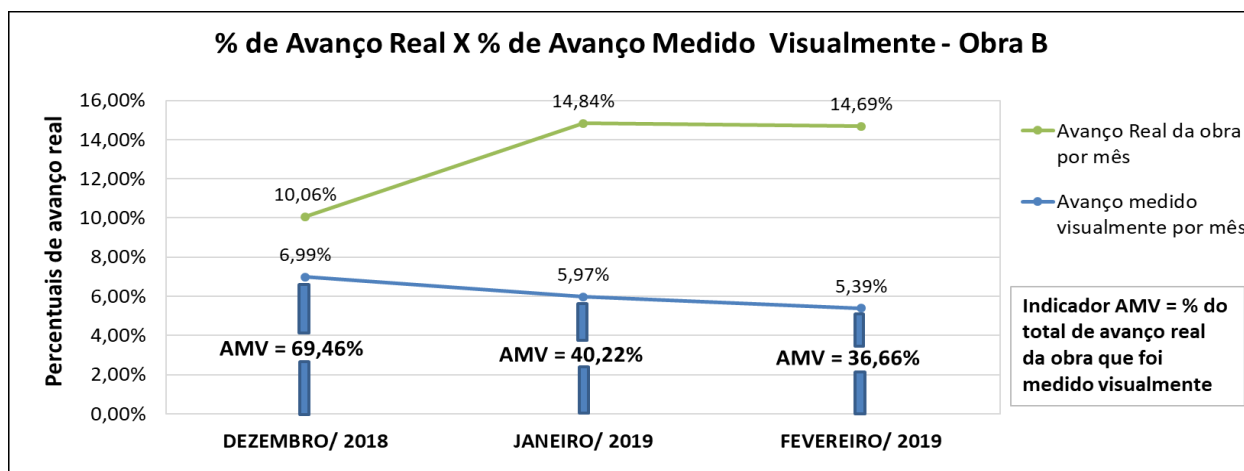
Como o Coordenador de obras (média gerência) é considerado como um dos principais agentes para o sucesso geral da implementação do método proposto, a opinião do mesmo foi considerada como de grande relevância. Pela análise do processo de implementação, de fato a necessidade de uma integração ainda maior entre os processos e produtos proposto e os procedimentos gerenciais da empresa foi algo que pôde ser observado. Para um aproveitamento efetivo dos potenciais oferecidos pelo método, acredita-se ser necessário uma integração mais estrutural do método com o sistema de PCP da empresa, em diferentes esferas de atuação gerencial para planejamento e controle da produção, e não somente uma implementação pontual, envolvendo somente a equipe gerencial mais diretamente ligada à uma única obra.

#### Avaliação do Estudo de Caso 2 – Obra B

No Estudo 2 também foi avaliado o impacto do mapeamento 3D de canteiro por VANT para a avaliação visual do progresso real da obra, a partir do indicador de “percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente” (AMV). O gráfico apresentado na Figura 43 mostra os resultados do avanço real da Obra B obtido por mês ao longo da implementação do método, em comparação ao avanço real medido visualmente por mês, destacando o AMV mensal.

Com base nos dados do gráfico da Figura 43 é possível notar que no primeiro mês de implementação foi registrado um AMV bastante significativo, representando quase 70% do total de avanço medido em dezembro. No entanto, de forma geral, é perceptível a diminuição progressiva do indicador ao longo dos meses, com diminuição mais acentuada entre dezembro de 2018 e janeiro de 2019.

Figura 43 - Comparação entre percentual de avanço real e percentual de avanço medido visualmente da Obra B e valores mensais de AMV (percentual do total de Avanço da obra que foi Medido Visualmente)



Fonte: Elaborado pela autora

Assim, a partir da análise do comportamento do indicador AMV (Figura 43) é possível perceber que o impacto do mapeamento 3D para a avaliação visual do progresso real da Obra B diminuiu ao longo dos meses. Acredita-se que a combinação de dois acontecimentos observados pode ter motivado tal diminuição. Um deles seria a grande intensificação, a partir do mês de janeiro, de serviços ligados ao acabamento interno das edificações da área comum do condomínio da Obra B. Estes serviços internos, em comparação aos externos que podiam ser medidos visualmente com apoio do mapeamento 3D, possuíam maior quantidade de hh associada, interferindo nos pesos e quantidades dos serviços para cálculo do “Percentual de Avanço Real”.

Já o segundo motivo seriam os atrasos significativos nos últimos dois meses (principalmente em janeiro) observados para atividades externas impactantes, como os serviços de pavimentação. Nos indicadores de cores dos modelos visuais desses meses, apresentados anteriormente na Figura 41 (página 140), fica evidente os atrasos nas unidades ligadas à pavimentação das ruas (em vermelho). Assim, com os atrasos de grande parte das atividades externas, os “Percentuais de Avanço Real” medidos nos meses de janeiro e fevereiro estiveram, principalmente, relacionados a avanços nas atividades internas, resultando em menores valores de AMVs.

Em comparação às características da Obra A, inicialmente, esperava-se que os percentuais de AMV da Obra B seriam maiores, por se tratar de uma obra mais horizontal, com uma quantidade mais significativa de atividades externas que pudessem ser avaliadas visualmente quanto ao seu progresso. No entanto, por conta

dos motivos pontuados e também do curto tempo de observação do indicador de AMV nesse segundo Estudo, não se pode fazer comparações conclusivas a respeito do potencial de uso das tecnologias proposta para o monitoramento visual do progresso, em função da tipologia de obra estudada.

Em relação à análise dos dados das entrevistas com a equipe gerencial da Obra B, o Quadro 16 apresenta as avaliações quanto ao nível de **Impacto** do método proposto em variáveis relacionadas à **identificação e avaliação do progresso**. Como diferença ao Estudo 1, só foram avaliadas no Estudo 2 as variáveis de “Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra” e “Mitigação dos desvios negativos de progresso com ações corretivas”, sendo esta última questionada em função do impacto dos produtos do método entregues no apoio à tomada de decisão para ações corretivas. A variável “Identificação de causas de desvios negativos de progresso” não foi avaliada, pois o processo proposto pelo método que está diretamente ligado à esta variável não foi implementado no Estudo 2, e também não se tinha conhecimento que a gerência da obra fazia este estudo das causas dos desvios.

Quadro 16 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao **impacto do método proposto na identificação e avaliação do progresso**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Impacto na identificação e avaliação do progresso da obra	1) Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra	CP2		EP2, EE2
	2) Mitigação de desvios negativos de progresso com ações corretivas	CP2	EP2	EE2

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP2 – Coordenadora de Planejamento, EP2 – Estagiário de Planejamento, EE2 – Estagiária de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Como pode ser observado no Quadro 16, a Coordenadora de Planejamento da obra, considerada como um dos principais agentes para a implementação do método no Estudo 2, avaliou como baixo o impacto geral do método nas variáveis relacionadas aos desvios de progresso. Segundo opinião da mesma, o uso das informações do método não foi muito efetivo para identificação e tomada de decisão quanto aos desvios de progresso no médio prazo, por conta da estratégia adotada pela gerência. A Coordenadora de Planejamento pontuou que atuação gerencial da empresa não foca na avaliação a fundo de desvios, nem na apresentação dos mesmos para as



equipes de coordenação direta da produção, e sim na reorganização e apresentação das metas seguintes a serem buscadas.

Acredita-se que tal avaliação tenha sido também influenciada pelo nível de implementação do método nesse estudo, que não contou com interferências estruturais em processos gerenciais, principalmente aqueles ligados aos desvios de progresso, bem como pela característica do sistema de PCP adotado pela construtora, o qual possui estrutura muito particular e considerada satisfatória pela equipe da empresa. Uma integração e alinhamento mais efetivo entre a forma de trabalho da empresa com o método, inclusive adaptando melhor e justando os fluxos dos processos e os produtos propostos aos propósitos e perfil gerencial da Obra B, eram necessários para que tais impactos avaliados não fossem baixos.

Entretanto, o Estagiário de Planejamento, um dos principais agentes da Obra B na operacionalização da análise da produção para replanejamento mensal, avaliou como médio o impacto na “Mitigação dos desvios negativos de progresso com ações corretivas”, e como alto o impacto na “Identificação e análise geral de desvios de progresso da obra” (Quadro 16). Para ele, as informações visuais ajudavam na identificação de desvios de progresso, analisadas pelo mesmo como informações relevantes no apoio à estruturação de direcionamentos para replanejamento mensal da obra, passados à empresa consultora externa que fazia a atualização dos planos.

Além disso, a Estagiária de Engenharia, que estava ligada à um nível diferente de atuação gerencial dos outros entrevistados, integrante da equipe da gerência direta em canteiro, apresentou um olhar diferente em relação à avaliação do **Impacto** do método **na identificação e avaliação do progresso**. A mesma avaliou como alto o impacto nas duas variáveis (Quadro 16). Para ela, a visualização geral de todo o canteiro proporcionada pelos produtos fotogramétricos e imagens aéreas, contribuiu bastante tanto para a identificação, quanto para a tomada de decisão em relação a desvios no progresso semanal das atividades, que eram difíceis de ser identificados nas reuniões de coordenação da produção quando não se tinha o apoio visual.

#### *5.4.1.2 Transparência*

##### Avaliação do Estudo de Caso 1 – Obra A

Para avaliação da **Transparência** na gestão do progresso da obra foram avaliadas qualitativamente, nas entrevistas, as seguintes variáveis, de acordo com a

mesma escala de impacto utilizada anteriormente (três níveis: baixo, médio e alto): (1) Qualidade da comunicação do status de progresso a partir do uso das tecnologias e indicadores propostos; e (2) Simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso ao longo das atividades do método implementadas. No Quadro 17 são apresentadas as avaliações dos entrevistados da Obra A quanto ao nível de impacto do método proposto nestas variáveis.

Quadro 17 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao impacto do método proposto para a **transparência** na gestão do progresso da obra

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Transparência	1) Qualidade da comunicação do status de progresso a partir do uso das tecnologias e indicadores propostos			CO1, GO1, AP1, APL1, AC1, EE1, AE1
	2) Simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso ao longo das atividades do método implementadas			CO1, GO1, AP1, APL1, AC1, EE1, AE1

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CO1 – Coordenado da Obra, GO1 – Gerente da Obra, AP1 – Analista de Produção, APL1 – Analista de Planejamento, AC1 – Analista de Controle, EE1 – Estagiária de Engenharia, AE1 – Auxiliar de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com os dados do Quadro 17, é possível identificar o alto impacto das ferramentas e processos implementados para o aumento da **Transparência**, avaliado unanimemente por todos aqueles que participaram diretamente da implementação do método e das atividades de planejamento e controle da Obra A. A partir do uso das tecnologias digitais, dados visuais e indicadores, percebeu-se de fato que as informações relacionadas ao monitoramento do progresso ficaram mais visíveis, compreensíveis, e acessíveis aos diferentes intervenientes do processo de PCP.

Como aumento da **Transparência** pela visualização e identificação de novas informações e atributos, antes não observados ou pouco evidenciados, a equipe gerencial da Obra A ainda destacou: (a) identificação, análise e documentação visual e mais clara do progresso, com uso dos modelos visuais sobrepostos (BIM 4D + nuvem de pontos) com os indicadores de cores; (b) melhor monitoramento da eficácia do planejamento e desempenho da produção a partir dos indicadores medidos; (c) visualização mais completa e precisa da situação atual do canteiro (progresso real) com uso das fotografias aéreas e produtos fotogramétricos; e (d) melhor identificação e documentação das causas de desvios do progresso planejado.

### Avaliação do Estudo de Caso 2 – Obra B

Em relação à análise das entrevistas com a equipe da Obra B, o Quadro 18 apresenta as avaliações relacionadas à **Transparência** na gestão do progresso. Como diferença ao Estudo 1, a primeira variável avaliada foi adaptada para: “Qualidade da comunicação do status de progresso a partir do uso das tecnologias propostas”. Questionamentos sobre os indicadores foram retirados da avaliação no Estudo 2, já que os mesmos não foram de fato utilizados pela equipe da Obra B.

Quadro 18 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao impacto do método proposto para a **transparência** na gestão do progresso da obra

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Transparência	1) Qualidade da comunicação do status de progresso a partir do uso das tecnologias propostas		EP2, EE2	CP2
	2) Simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso ao longo das atividades do método implementadas		CP2	EP2, EE2

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP2 – Coordenadora de Planejamento, EP2 – Estagiário de Planejamento, EE2 – Estagiária de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Como observado nos dados do Quadro 18, os entrevistados avaliaram como médio ou alto o impacto do método quanto à **Transparência**. Segundo a Coordenadora de Planejamento, os produtos visuais, especialmente os produtos fotogramétricos e imagens aéreas, possibilitaram uma visualização do progresso da obra com amplitude e maior transparência. Porém, a mesma avaliou que a rapidez no entendimento das informações não foi um aspecto que chamou tanto a sua atenção.

Para o Estagiário de Planejamento e Estagiária de Engenharia, que tiveram as mesmas respostas, o aumento da **Transparência** esteve principalmente relacionado à visualização e identificação das seguintes informações ou atributos, antes não observados ou pouco evidenciados: (a) apoio visual na avaliação da produção das atividades externas e no planejamento; (b) melhor visualização do canteiro a partir dos produtos fotogramétricos e imagens aéreas, ajudando na tomada de decisão quanto ao plano de ataque e logística do canteiro; (c) equipes gerenciais que não trabalham diretamente no campo passaram a acompanhar o progresso da obra de maneira mais próxima; e (d) a partir do uso dos produtos visuais nas reuniões

semanais e mensais, as equipes de produção (encarregados) passaram a enxergar melhor o progresso da sua atividade e acompanhar o avanço umas das outras.

#### 5.4.1.3 Colaboração

##### Avaliação do Estudo de Caso 1 – Obra A

Para avaliação da **Colaboração** na gestão do progresso da obra foram avaliadas qualitativamente, nas entrevistas, as seguintes variáveis, também de acordo com a mesma escala de impacto utilizada anteriormente (três níveis: baixo, médio e alto): (1) Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso de tecnologias e indicadores propostos; (2) Envolvimento e interação entre diferentes intervenientes ligados ao PCP, nas atividades relacionadas ao monitoramento do progresso; e (3) Análise compartilhada e tomada de decisão conjunta em relação ao progresso. No Quadro 19 são apresentadas as avaliações dos entrevistados da Obra A quanto ao nível de impacto do método proposto nestas variáveis.

Quadro 19 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto ao impacto do método proposto para a **colaboração** na gestão do progresso da obra

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Colaboração	1) Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso de tecnologias e indicadores propostos		CO1, GO1, AP1	APL1, AC1, EE1, AE1
	2) Envolvimento e interação entre diferentes intervenientes ligados ao PCP, nas atividades relacionadas ao monitoramento do progresso		AP1	CO1, GO1, APL1, AC1, EE1, AE1
	3) Análise compartilhada e tomada de decisão conjunta em relação ao progresso	CO1	GO1, AP1, AC1	APL1, EE1, AE1

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CO1 – Coordenado da Obra, GO1 – Gerente da Obra, AP1 – Analista de Produção, APL1 – Analista de Planejamento, AC1 – Analista de Controle, EE1 – Estagiária de Engenharia, AE1 – Auxiliar de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme apresentado no Quadro 19, apesar de terem sido percebidas melhorias, os impactos nas variáveis desse constructo não foram tão bem avaliados quanto para o constructo **Transparência** pela equipe da Obra A. A partir do uso das tecnologias de dados visuais e aplicação dos processos do método, foi possível observar maior envolvimento e interação entre a equipe gerencial na atividade de monitoramento do progresso (variável mais bem avaliada relacionada à **Colaboração**,

conforme Quadro 19). Como exemplo, a participação dos auxiliares de engenharia nas reuniões de planejamento e controle semanais tornou-se cada vez mais efetiva e colaborativa. O que proporcionou um melhor alinhamento das metas de produção e, principalmente, maior comprometimento com o cumprimento das mesmas.

No entanto, os dados do Quadro 19 mostram que parte considerável dos entrevistados avaliaram como médio e até mesmo baixo o impacto dos produtos e processos do método em duas das três variáveis associadas à **Colaboração**. Apesar de considerarem que a análise compartilhada dos modelos visuais pode contribuir para uma melhor discussão do progresso e tomada de decisão conjunta, o Coordenador da Obra e o Analista de Produção, por exemplo, comentaram que isso só ocorrerá efetivamente quando a equipe da obra estiver mais familiarizada e tiver mais autonomia sobre esta nova forma de monitoramento e análise do progresso.

Tal avaliação é de fato relevante, uma vez que o tempo de aprendizado e familiarização é algo muito importante quando se trata da adoção de novas tecnologias e novos procedimentos de trabalho. A tendência é que à medida em que se ganhe mais conhecimento e propriedade sobre o uso dessas ferramentas e processos, o aproveitamento e exploração dos seus potenciais seja cada vez maior. Por conta disso, o investimento em treinamentos, desenvolvimento de experiências iniciais para estudo piloto, e incorporação de mão de obra qualificada que já saiba trabalhar com as tecnologias propostas, por exemplo, são aspectos importantes e que ajudam a acelerar a obtenção das melhorias apontadas pelas três variáveis apresentadas no Quadro 19.

#### Avaliação do Estudo de Caso 2 – Obra B

Em relação à análise das entrevistas com a equipe gerencial da Obra B, o Quadro 20 apresenta as avaliações relacionadas à **Colaboração** na gestão do progresso da obra. Como diferença ao Estudo 1, a primeira variável avaliada foi adaptada para: “Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso das tecnologias propostas”. Como comentado, as questões que envolvem também a avaliação dos indicadores foram ajustadas no Estudo 2.

Na avaliação da **Colaboração** no Estudo 2 (Quadro 20), todos os entrevistados tiveram a mesma opinião geral, de que os produtos e processos do método possuem principalmente alto impacto para o aumento da colaboração entre os intervenientes

ligados ao monitoramento do progresso. Apenas a variável “Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso de tecnologias propostas” foi avaliada como de médio impacto.

Quadro 20 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto ao impacto do método proposto para a **colaboração** na gestão do progresso da obra

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Colaboração	1) Eficiência na troca e compartilhamento de informações de progresso a partir do uso de tecnologias propostas		CP2, EP2, EE2	
	2) Envolvimento e interação entre diferentes intervenientes ligados ao PCP, nas atividades relacionadas ao monitoramento do progresso			CP2, EP2, EE2
	3) Análise compartilhada e tomada de decisão conjunta em relação ao progresso			CP2, EP2, EE2

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP2 – Coordenadora de Planejamento, EP2 – Estagiário de Planejamento, EE2 – Estagiária de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Como o ponto que chamou mais atenção na avaliação da **Colaboração**, segundo os Estagiários da Obra B, foi que os encarregados ligados às atividades externas passaram um feedback bastante positivo em relação ao uso dos produtos visuais nas reuniões de planejamento e controle da produção. Os encarregados disseram que passaram a acompanhar melhor o avanço da sua atividade, analisando visualmente a produção da sua equipe em canteiro, além de interagir melhor com a produção de outras equipes, identificando e discutindo com mais facilidade interferências e dependências espaciais entre os serviços.

Acredita-se que tal potencial observado ao uso dos produtos visuais precisa ser de fato explorado, pois a equipe direta de coordenação da produção (com destaque para mestres de obras e encarregados) são os principais responsáveis pelo progresso medido em campo, além de serem os que melhor entendem os problemas reais dos serviços. Dessa forma, como os produtos visuais propostos no método são ferramentas que aparentemente estimulam essa compreensão e troca de informações mais colaborativa, por transmitir informações de maneira mais simples e rápidas de serem compreendidas e discutidas por diferentes pessoas, são instrumentos de grande potencial para uso em reuniões gerenciais com as equipes de campo, assim como observado na experiência do Estudo 2.

### 5.4.2 Avaliação da Estrutura (Processos e Produtos) do Método Proposto

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões relacionados à avaliação da **Utilidade do método proposto** e **Facilidade de adoção e integração do método proposto aos processos de planejamento e controle das obras**. Para tais avaliações foram analisados, principalmente, os resultados das respostas das entrevistas realizadas com as equipes das obras, e feedbacks dos mesmos ao longo dos Estudos de Caso.

#### 5.4.2.1 Utilidade do Método Proposto

##### Avaliação do Estudo de Caso 1 – Obra A

Para avaliação da **Utilidade do método**, foram avaliadas qualitativamente nas entrevistas as seguintes variáveis, também de acordo com a escala de impacto de três níveis utilizada anteriormente (baixo, médio e alto): (1) Importância das atividades do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão; (2) Importância dos produtos do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão; (3) Adequação das atividades do método às necessidades do monitoramento do progresso; e (4) Adequação dos produtos do método às necessidades do monitoramento do progresso. No Quadro 21 são apresentadas as avaliações dos entrevistados da Obra A quanto ao nível de impacto dessas variáveis.

Quadro 21 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto à **utilidade do método proposto**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Utilidade do método proposto	1) Importância das atividades do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão			CO1, GO1, AP1, APL1, AC1, EE1, AE1
	2) Importância dos produtos do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão		AP1	CO1, GO1, APL1, AC1, EE1, AE1
	3) Adequação das atividades do método às necessidades do monitoramento do progresso		CO1, GO1, AP1	APL1, AC1, EE1, AE1
	4) Adequação dos produtos do método às necessidades do monitoramento do progresso		CO1, GO1, AC1	AP1, APL1, EE1, AE1

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CO1 – Coordenado da Obra, GO1 – Gerente da Obra, AP1 – Analista de Produção, APL1 – Analista de Planejamento, AC1 – Analista de Controle, EE1 – Estagiária de Engenharia, AE1 – Auxiliar de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com os dados apresentado no Quadro 21, quase a totalidade dos entrevistados da Obra A avaliaram tanto os processos quanto os produtos do método proposto como de alta importância. Apenas o Analista de Produção acredita que nem todos os produtos propostos são tão importantes para o nível de atuação gerencial do mesmo, ressaltando a menor importância da análise do banco de dados dos indicadores e também dos modelos BIM 4D para apoio à análise das metas planejadas. No caso do BIM 4D, o mesmo comentou que gostaria de ter mais conhecimento sobre a tecnologia para responder com maior propriedade tal pergunta, uma vez que, seu primeiro contato direto com o BIM foi no estudo desenvolvido. Ainda assim, o mesmo avaliou as informações dos modelos sobrepostos com os indicadores de cores mais importantes do que o modelo 4D somente com a simulação do planejamento.

Em relação à adequação dos processos e produtos do método, conforme foram implementados no Estudo 1, 4 dos 7 entrevistados avaliaram como altos os níveis de adequação, enquanto 3 avaliaram como médios (Quadro 21). O Coordenador e o Gerente da Obra, por exemplo, comentaram que o modelo visual sobreposto para análise do progresso com base nas metas do longo prazo deveria ser mais bem utilizado e analisado. Já o Analista de Produção achou que o modelo visual do longo prazo não possuía muita utilidade, e que o uso do BIM 4D referente ao plano de médio prazo com a sobreposição semanal das nuvens de pontos, para apoio em análises e tomada de decisão nas reuniões mensais de PCP, foi muito mais adequado.

Outro ponto relacionado à adequação das atividades do método, que segundo o Gerente da Obra o influenciou no médio impacto avaliado pelo mesmo na variável correspondente, foi o curto período de tempo de implementação. Para ele, os ciclos mensais e semanais de desenvolvimento do método deveriam ter sido implementados desde o início da obra e ir até a sua conclusão, pois só assim ele acredita que seria possível um maior aproveitamento e exploração dos potenciais benefícios do método. A pesquisadora também concorda com essa avaliação, no entanto, por se tratar de uma pesquisa científica ainda em fase de desenvolvimento e testes iniciais do artefato proposto, entende-se que essa é uma limitação real do trabalho.

Já em relação à adequação dos produtos do método, o Gerente da Obra e principalmente o Analista de Controle comentaram que não avaliaram como de alto impacto, por considerarem que as informações contidas na planilha de curto prazo e



no relatório mensal de progresso deveriam ser revistas. Segundo o Gerente da Obra, as informações contidas na planilha de curto prazo deveriam ser mais objetivas e menos detalhadas. Para o Analista de Controle, a forma de apresentação e nível de detalhe dos dados dos indicadores nos relatórios mensais de progresso deveria ser melhor estruturado e simplificado.

A partir dessa avaliação, estendeu-se a necessidade de ajustar os protocolos de coleta e formato dos relatórios conjuntamente com a equipe da obra, no qual os mesmos pudessem ser estruturados em função da real necessidade de informação. Ao contrário de como foi realizado no Estudo 1, no qual a pesquisadora adaptou os protocolos e ajustou o formato do relatório de progresso sem discutir em conjunto com a equipe gerencial da Obra A.

Como complemento à avaliação da **Utilidade do método proposto**, foi também pedido que cada entrevistado citasse os principais benefícios e as principais dificuldades que os mesmos jugassem à implementação do método na respectiva obra. O Quadro 22 apresenta a compilação desses benefícios e dificuldades gerais comentados pela equipe gerencial da Obra A.

Quadro 22 - Principais benefícios e dificuldades do método proposto avaliados pela equipe gerencial da Obra A

Principais benefícios	Principais dificuldades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor visualização e análise do progresso da obra com base nos modelos visuais sobrepostos com indicadores de cores;</li> <li>• Melhoria do acompanhamento e avaliação da produção e identificação de falhas de planejamento;</li> <li>• Melhoria do atendimento às metas planejadas;</li> <li>• Obtenção de importantes informações associadas ao controle da produção por meio dos indicadores;</li> <li>• Melhor identificação e visualização mais clara de desvios negativos de progresso e estímulo à busca por soluções e aplicação de ações corretivas;</li> <li>• Melhoria do planejamento e controle de curto prazo a partir da dinâmica implementada, das informações geradas e dados visuais das imagens aéreas;</li> <li>• Identificação da situação real das atividades externas para medições semanais apenas com uso das imagens aéreas;</li> <li>• Visualização mais completa e precisa do canteiro e progresso real da obra com uso das fotografias aéreas e mapeamento 3D.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração ainda insuficiente do método aos procedimentos gerenciais da empresa, dificultando o aproveitamento completo de seus benefícios;</li> <li>• Curto período de implementação do método na obra, dificultando, principalmente, um melhor aproveitamento e uso dos modelos visuais;</li> <li>• A cultura e demandas gerenciais internas da empresa dificultaram um aproveitamento ainda melhor dos produtos visuais e informações associadas ao método;</li> <li>• Pouca familiaridade da equipe gerencial da obra com o BIM, dificultando um melhor aproveitamento e uso dos modelos visuais;</li> <li>• Detalhamento excessivo e pouca objetividade de informações na planilha de curto prazo e relatório mensal de progresso;</li> <li>• Monitoramento visual do progresso real apenas de atividades externas, sendo necessária medição direta de atividades internas.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

Boa parte dos benefícios e dificuldades listados no Quadro 22 já foram comentados anteriormente. Entretanto, vale ressaltar o potencial reconhecido pelo entrevistados quanto às informações proporcionadas pelos principais produtos do método, tais como: (a) a visualização e análise do progresso da obra proporcionada pelo uso dos modelos visuais sobrepostos com indicadores de cores; (b) informações importantes associadas ao controle da produção a partir da medição dos indicadores propostos; e (c) a visualização do canteiro e do progresso real das atividades externas pelo uso das fotografias aéreas e mapeamento 3D.

Como dificuldades pontuadas ainda não comentadas anteriormente, foi avaliado que a cultura e demandas gerenciais internas da empresa dificultaram um melhor aproveitamento dos produtos visuais e informações associadas ao método. Acredita-se que essa dificuldade só será superada quando houver uma integração maior entre o método proposto e os procedimentos gerenciais da empresa, como discutido na avaliação do constructo **Impacto na identificação e avaliação do progresso**.

Outra dificuldade que chamou atenção foi o entendimento de que a pouca familiaridade da equipe gerencial da obra com o BIM dificultou um melhor aproveitamento e uso dos modelos visuais. Essa, infelizmente, é uma dificuldade que ainda retrata a realidade de grande parte das empresas brasileiras de construção civil. O BIM, atualmente, ainda se encontra em estágios iniciais de conhecimento e adoção por muitas construtoras, mas em grande processo de crescimento nos últimos anos. Acredita-se que nos próximos anos o BIM se torne uma realidade mais presente no mercado de construção civil brasileiro, e que cada vez mais haverá mão de obra qualificada para trabalhar com BIM, ajudando a superar tal dificuldade identificada.

Por fim, a dificuldade de monitoramento visual do progresso real apenas de atividades externas está relacionada a limitações da tecnologia escolhida para registro visual em canteiro. O VANT foi escolhido pela maior rapidez e facilidades na aquisição de fotos de grande parte do canteiro, além de melhor controle dos parâmetros de captura que influenciam na qualidade do processamento fotogramétrico. Acredita-se que o tempo e esforço gastos para captura, processamento e gerenciamento de dados visuais do interior dos cômodos de cada unidade habitacional, com uso de câmeras manuais ou *laser scanners*, por exemplo, não compensaria a utilização dessas outras ferramentas para registro visual interno com a finalidade de medição do progresso.

### Avaliação do Estudo de Caso 2 – Obra B

Em relação à análise das entrevistas com a equipe gerencial da Obra B, o Quadro 23 apresenta as avaliações para o nível de impacto das variáveis relacionadas à **Utilidade do método proposto**. Como diferença ao Estudo 1, só foram questionados os níveis de impacto para a importância e adequação dos processos e produtos do método efetivamente implementados no Estudo 2.

Quadro 23 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto à **utilidade do método proposto**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Utilidade do método proposto	1) Importância das atividades do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão			CP2, EP2, EE2
	2) Importância dos produtos do método para um monitoramento efetivo do progresso e tomada de decisão		EP2	CP2, EE2
	3) Adequação das atividades do método às necessidades do monitoramento do progresso		CP2	EP2, EE2
	4) Adequação dos produtos do método às necessidades do monitoramento do progresso		CP2, EP2	EE2

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP2 – Coordenadora de Planejamento, EP2 – Estagiário de Planejamento, EE2 – Estagiária de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Assim como no Estudo 1, de acordo com os dados apresentado no Quadro 23, quase a totalidade dos entrevistados da Obra B também avaliaram tanto os processos quanto os produtos do método proposto como de alta importância. Apenas o Estagiário de Planejamento acredita que nem todos os produtos propostos são muito importantes. Apesar de considerar muito interessante, o mesmo não achou os modelos BIM 4D e modelos sobrepostos tão importantes. No entanto, assim como o Analista de Produção da Obra A, o Estagiário de Planejamento da Obra B comentou que o BIM ainda é muito novo para ele e que ainda não tinha trabalhado com esta tecnologia antes da experiência do estudo, por isso precisava ter mais conhecimento sobre a mesma para responder à pergunta com maior propriedade.

Em relação à adequação do método, conforme foram implementados no Estudo 2, pode-se destacar a avaliação feita pela Coordenadora de Planejamento, que atribuiu médio impacto tanto para os processos como para os produtos (Quadro 23). Ela comentou que o tempo de atualização e geração das informações e arquivos

precisava ser melhor ajustado com as atividades gerenciais da obra, além de julgar necessário o uso das simulações 4D nas reuniões mensais de uma maneira mais alinhada aos propósitos e estilo gerencial da construtora. Como já comentado na avaliação do **Impacto na identificação e avaliação do progresso**, entende-se como fundamental uma integração e alinhamento mais efetivo entre a forma de trabalho da empresa e o método, para que tais impactos avaliados fossem altos. No entanto, devido ao nível pouco intervencionista da implementação no Estudo 2, tal aspecto foi dificultado.

Quanto aos benefícios e dificuldades do método avaliados no Estudo 2, o Quadro 24 apresenta a compilação geral daqueles comentados pela equipe da Obra B.

Quadro 24 - Principais benefícios e dificuldades do método proposto avaliados pela equipe gerencial da Obra B

Principais benefícios	Principais dificuldades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os produtos fotogramétricos e imagens aéreas possibilitaram a visualização do progresso real da obra com amplitude e maior transparência;</li> <li>• Os produtos fotogramétricos e imagens aéreas melhoraram a visualização do canteiro, ajudando na tomada de decisão quanto ao plano de ataque e logística em canteiro;</li> <li>• Possibilidade de identificar e mensurar visualmente o progresso das atividades de forma mais fácil e clara de ser entendido;</li> <li>• Potencial de uso das ortofotos e imagens aéreas nas reuniões semanais de coordenação da produção para apoio em análises e tomada de decisões semanais;</li> <li>• Equipes gerenciais que não trabalham diretamente no campo passaram a acompanhar o progresso da obra de maneira mais próxima e compreensível;</li> <li>• Melhor comunicação das metas planejadas no médio prazo para as equipes de produção (encarregados), por meio da apresentação das metas visuais por serviços, com apoio dos produtos visuais do método.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As informações proporcionadas pelo método não foram muito efetivas para a identificação e tomada de decisão quanto aos desvios de progresso no médio prazo, em função da estratégia adotada pela gerência da obra, que não foca na análise de desvios e sim na reorganização e estímulo à busca das metas seguintes;</li> <li>• O tempo de atualização e geração das informações e arquivos precisa ser melhor ajustado com as atividades gerenciais da obra;</li> <li>• As informações dos modelos BIM e modelos sobrepostos acabaram sendo usados somente pelas pessoas do setor de planejamento (internamente), não contribuindo muito para a interação e troca de informações entre equipes do campo e gerência;</li> <li>• As informações do modelo BIM e modelos sobrepostos não foram identificadas como impactantes ou com grande potencial para este tipo de obra, foi avaliado que estas seriam mais bem aproveitadas em obras de edificações (verticais);</li> <li>• Foi feita a análise visual do progresso de apenas algumas atividades, sendo avaliado como ideal se pudesse incluir mais atividades, principalmente as de redes enterradas.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

Como aspectos interessantes entre os benefícios listados que ainda não foram comentados anteriormente, vale ressaltar que foi unanimidade entre os entrevistados da Obra B o reconhecimento do potencial e valor agregado dos produtos do mapeamento 3D do canteiro, como ferramenta para melhoria do monitoramento do

progresso. No Estudo 2, esses foram os principais produtos do método explorados, sendo usados principalmente para: (a) apoio na tomada de decisão quanto ao plano de ataque e logística em canteiro; (b) identificação e mensuração visual do progresso de atividades externas de forma mais fácil e clara; (c) apoio em análises e tomada de decisão nas reuniões semanais de coordenação da produção.

Como dificuldades pontuadas ainda não comentadas anteriormente, foi avaliado que as informações do modelo BIM e modelos sobrepostos não são impactantes ou não apresentam grande potencial para este tipo de obra, sendo mais bem aproveitadas em obras de edificações verticais. Apesar da pesquisadora não ter a mesma opinião, compreende-se a justificativa de que em obras mais horizontais como essa, o monitoramento visual com base apenas nas fotografias aéreas e produtos fotogramétricos é mais impactante. Realmente o potencial das imagens aéreas e mapeamento 3D fica mais evidente e é mais fácil de ser percebido, principalmente quando se trata de obras horizontais com grandes áreas, já que a visão completa do canteiro e percepção do progresso em diferentes atividades espalhadas é mais difícil sem esse suporte visual.

Em relação ao fato de as análises visuais do progresso terem sido realizadas apenas para algumas atividades, não incluindo, por exemplo, todos os serviços relacionados às redes enterradas, está relacionado a limitações de visualização por uso dos produtos visuais propostos. Inicialmente, acreditou-se ser possível o monitoramento visual das atividades de redes enterradas. Porém, como o tempo de execução entre a instalação das tubulações e enterramento era muito curto, o acompanhamento do progresso real da atividade pelo levantamento visual do canteiro com intervalos semanais foi avaliado como pouco preciso, optando-se por continuar a medir estas atividades por medições físicas diretas.

#### *5.4.2.2 Facilidade de Adoção e Integração do Método Proposto aos Processos de Planejamento e Controle da Obra*

##### Avaliação do Estudo de Caso 1 – Obra A

Para avaliação da **Facilidade de adoção e integração do método**, foram avaliadas qualitativamente as seguintes variáveis nas entrevistas, novamente seguindo a mesma escala de impacto (três níveis: baixo, médio e alto): (1) Facilidade de compreensão das atividades do método; (2) Facilidade de compreensão dos

produtos do método; (3) Facilidade de aplicação das atividades do método; e (4) Facilidade de aplicação dos produtos do método. No Quadro 25 são apresentadas as avaliações dos entrevistados da Obra A quanto ao nível de impacto dessas variáveis.

Quadro 25 - Avaliação dos entrevistados da Obra A quanto à **facilidade de adoção e integração do método proposto**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Facilidade de adoção e integração do método proposto	1) Facilidade de compreensão das atividades do método		AC1	CO1, GO1, AP1, APL1, EE1, AE1
	2) Facilidade de compreensão dos produtos do método		CO1	GO1, AP1, APL1, AC1, EE1, AE1
	3) Facilidade de aplicação das atividades do método		CO1, AP1, EE1	GO1, APL1, AC1, AE1
	4) Facilidade de aplicação dos produtos do método		CO1, AP1, AC1, AE1	GO1, APL1, EE1

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CO1 – Coordenado da Obra, GO1 – Gerente da Obra, AP1 – Analista de Produção, APL1 – Analista de Planejamento, AC1 – Analista de Controle, EE1 – Estagiária de Engenharia, AE1 – Auxiliar de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com os dados do Quadro 25, a grande maioria da equipe da Obra A avaliou tanto os processos quanto os produtos do método proposto como de fácil compreensão. Apenas o Analista de Controle avaliou como média a sua compreensão das atividades ocorridas nos ciclos semanais, já que apesar de ter acesso às imagens, produtos fotogramétricos e protocolo com informações do planejamento e controle de curto prazo, o mesmo não participava das reuniões semanais em canteiro.

O Coordenado da Obra também avaliou como média a sua compreensão de alguns produtos, como os bancos de dados dos indicadores e dos levantamentos das causas de desvios negativos de progresso. O mesmo comentou que não chegava a analisá-los, somente avaliava os resultados dos indicadores e causas de desvios pelos relatórios mensais. No estudo, esses bancos de dados eram disponibilizados às equipes das obras apenas para que pudessem ter o registro e tirar dúvidas, caso necessário, sobre o memorial de cálculo dos indicadores ou percentuais de causas de desvios, mas não exatamente para avaliação periódica dos mesmos.

Já em relação à aplicação, boa parte dos entrevistados avaliaram os produtos e processos como de média facilidade de aplicação (Quadro 25). Para que a empresa pudesse efetivamente incorporar os produtos e processos do método ao seu sistema

de planejamento e controle, a equipe entrevistada acredita ser necessário tanto mudanças no método quanto mudanças no sistema de PCP e cultura da empresa. Como mudanças sugeridas ao método foram comentadas: (a) simplificação e maior objetividade de alguns protocolos usados; (b) maior automatização dos processos de controle e medição direta dos serviços junto à equipe de coordenação da produção, com uso, por exemplo, de sistema mobile ou sistema web integrado com os dados visuais para inserção e troca de informações; e (c) levantar e analisar financeiramente qual o impacto e vantagens da adoção de tal método.

Quanto às mudanças entendidas como necessárias na empresa para a adoção do método proposto, pode-se destacar: (a) maior envolvimento e engajamento da alta gerência no processo de implementação do método e uso das ferramentas propostas; (b) preparação e treinamento das equipes para uso das ferramentas e incorporação dos processos do método na rotina das obras; (c) modernização de alguns processos da empresa e adoção de novas tecnologias, como o BIM; (d) contratação de mão de obra qualificada para atribuições específicas dentro da empresa, que realizasse o suporte dado pela pesquisadora durante o desenvolvimento do estudo; (e) investir em infraestrutura e equipe especializada, para que seja possível o desenvolvimento do PCP da forma como proposta pelo método; e (f) mudanças internas de cultura da empresa em relação à importância, forma e ferramentas usada para o PCP.

#### Avaliação do Estudo de Caso 2 – Obra B

Em relação à análise das entrevistas na Obra B, o Quadro 26 apresenta as avaliações para o nível de impacto das variáveis relacionadas à **Facilidade de adoção e integração do método**. Como diferença ao Estudo 1, só foram questionados os níveis de impacto para a facilidade de compreensão e aplicação dos processos e produtos do método efetivamente implementados no Estudo 2.

De acordo com os dados do Quadro 26, a maioria dos entrevistados da Obra B avaliou tanto os processos quanto os produtos do método proposto como de fácil compreensão. Apenas a Estagiária de Engenharia avaliou como média a sua compreensão das atividades e produtos ligados aos ciclos mensais, por não participar das análises de médio prazo, devido ao seu nível de atuação gerencial na obra.

Quadro 26 - Avaliação dos entrevistados da Obra B quanto à **facilidade de adoção e integração do método proposto**

Constructo relacionado	Variável avaliada	Avaliação por respondente do nível de impacto avaliado		
		Baixo	Médio	Alto
Facilidade de adoção e integração do método proposto	1) Facilidade de compreensão das atividades do método		EE2	CP2, EP2
	2) Facilidade de compreensão dos produtos do método		EE2	CP2, EP2
	3) Facilidade de aplicação das atividades do método		CP2	EP2, EE2
	4) Facilidade de aplicação dos produtos do método		EP2, EE2	CP2

Nota: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP2 – Coordenadora de Planejamento, EP2 – Estagiário de Planejamento, EE2 – Estagiária de Engenharia.

Fonte: Elaborado pela autora

Já em relação à aplicação, a maioria dos entrevistados avaliaram as atividades como de alta facilidade de aplicação, e os produtos como de média facilidade (Quadro 26). Para que a empresa pudesse efetivamente incorporar os produtos e processos do método ao seu sistema de planejamento e controle de obras, a equipe entrevistada acredita ser necessário tanto mudanças no método quanto mudanças no sistema de PCP e cultura da empresa. Como mudanças sugeridas ao método foram comentadas: (a) melhor estruturação os produtos gerados e entregues, em termos de volume e forma de apresentação dos dados; e (b) pensar em como viabilizar o uso dos produtos visuais para apoio ao monitoramento de outras atividades não avaliadas no estudo, como redes enterradas, por exemplo.

Quanto às mudanças entendidas como necessárias na empresa para a adoção do método proposto, pode-se destacar: (a) buscar explorar mais os modelos sobrepostos com indicadores de cores, incluindo o seu uso na rotina de comunicação e troca de informações do progresso, inclusive entre gerência geral e equipe de coordenação direta da produção em canteiro; (b) incorporar de fato e adequar melhor os processos do método à rotina e dinâmica gerencial da empresa, já que nesse estudo ocorreu um certo distanciamento; (c) melhorar o conhecimento da equipe em relação ao BIM 4D; (d) treinamento e capacitação das equipes das empresas para uso adequado das tecnologias de dados visuais propostas.



## 5.5 ESTRUTURA FINAL DO MÉTODO PROPOSTO E RECOMENDAÇÕES PARA SUA IMPLEMENTAÇÃO

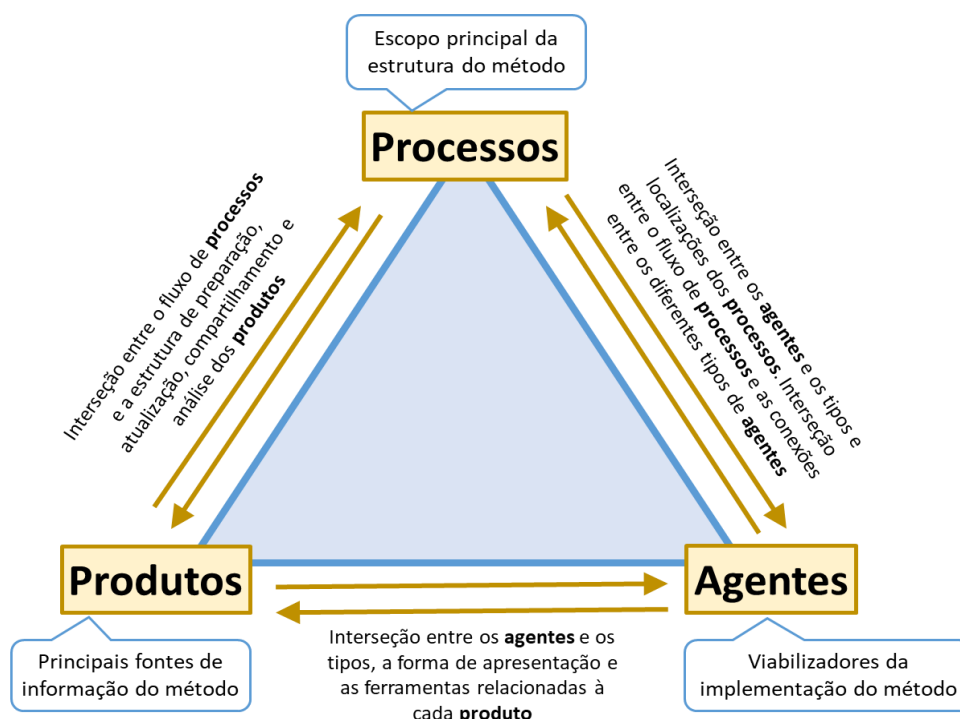
Nesta seção será apresentada a estrutura final do método proposto, definida a partir de ajustes e complementos na sua estrutura preliminar, além de um conjunto de recomendações para suporte a futuras implementações do método.

### 5.5.1 Estrutura Final do Método Proposto

#### 5.5.1.1 Elementos que Fundamentam a Estrutura do Método Proposto

Na elaboração da estrutura final do método proposto para monitoramento visual do progresso de obras, entendeu-se como necessário identificar e conceituar os elementos que fundamentam a estrutura do método. Tais elementos, definidos a partir da base teórica deste trabalho e das experiências práticas de implementação e avaliação do método nos Estudos de Caso, incluem: os **Processos** que definem o método; os **Produtos** propostos a partir do método; e os **Agentes** facilitadores envolvidos na sua implementação. A Figura 44 apresenta a estruturação esquemática do principal papel de cada um desses elementos na estrutura final do método, e suas principais interseções. Em sequência, é apresentado a definição de cada elemento e principais características de suas interseções.

Figura 44 - Elementos que fundamentam a estrutura do método proposto



Fonte: Elaborado pela autora

### Processos que definem o Método Proposto

Tais processos representam o escopo principal da estrutura desenvolvida para o método proposto. O objetivo dos processos definidos é possibilitar a operacionalização da integração sistemática das tecnologias de mapeamento 3D de canteiro por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e BIM 4D, ao Planejamento e Controle da Produção (PCP). Os processos que definem a estrutura geral do método foram pensados a partir de referências conceituais de PCP, como o modelo do ciclo de PCP proposto por Laufer e Tucker (1987), sistema *Last Planner* (Ballard, 2000), e a estrutura do ciclo contínuo de controle proposto por Navon (2007); combinadas com referências de estudos anteriores que tratam do uso de tecnologias digitais para o monitoramento visual do progresso de obras, tais como: Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2015); Han e Golparvar-Fard (2017); Lin e Golparvar-Fard (2017); e Han, Degol e Golparvar-Fard (2018).

A montagem do fluxo de processos do método inclui a definição das principais etapas da estrutura do método (ligada aos níveis hierárquicos de longo, médio e curto prazo), organização dos processos dentro dessas etapas e, principalmente, definição da conexão entre os processos. Tal conexão foi estruturada visando um fluxo de informações integrado, compreensível, transparente e de fácil adoção. No trabalho é proposta uma estrutura geral desse fluxo de processos, entretanto, a mesma deve ser customizada/adaptada em função das características do sistema de PCP e perfil gerencial da construtora, do nível de implementação do método pretendido, e do suporte que se tem em relação às tecnologias e ferramentas (infraestrutura física) e qualificação e nível de conhecimento da equipe (infraestrutura operacional).

Na interseção entre processos e produtos, os tipos e os posicionamentos dos processos dentro da estrutura do método (fluxo de processos definido) são os responsáveis pela definição da estrutura de preparação, atualização, compartilhamento e análise dos produtos e subprodutos.

### Produtos Propostos a partir do Método

Tais produtos representam as fontes de informação principais, adotados visando proporcionar a melhoria do monitoramento do progresso de obras e, conseqüentemente, do sistema de PCP. Dessa forma, os três principais produtos do método proposto são: (1) os modelos BIM, em especial as simulações BIM 4D; (2) os

mapeamentos 3D de canteiro com uso de VANT, principalmente os modelos de nuvem de pontos e ortofotos; e (3) os indicadores de desempenho complementares à análise visual do progresso. Além desses, são ainda definidos produtos auxiliares, como relatórios e protocolos de apoio à coleta e compartilhamento de dados. Na estrutura do método são especificadas as formas de apresentação, níveis de utilização, a conexão entre os produtos e as ferramentas associadas à cada produto.

Na interseção entre produtos e agentes facilitadores, os agentes são os responsáveis por definir os tipos, a forma de apresentação e as ferramentas relacionadas à cada produto. Na adaptação da estrutura geral do método é necessário que seja compatibilizado o nível de conhecimento e familiaridade de cada agente com os produtos com os quais irá interagir.

#### Agentes Facilitadores Envolvidos na Implementação do Método Proposto

Os agentes facilitadores são os encarregados por viabilizar a implementação do método nos contextos reais das obras. Estes são os principais responsáveis pelo sucesso ou fracasso da implementação. Como características dos agentes que influenciam diretamente no resultado da implementação, podem ser citadas: nível de envolvimento dos agentes com os processos e produtos, conhecimento e capacitação em relação aos produtos e processos implementados, engajamento e comprometimento, e nível de atuação gerencial do agente dentro do sistema de PCP.

A partir das experiências nos Estudos de Caso foram definidos os seguintes tipos principais de agentes facilitadores, envolvidos na implementação direta do método:

- Equipe de representantes da alta gerência: principais responsáveis e articuladores quanto à tomada de decisão para implementação do método;
- Equipe de projetos: projetistas e gerente ou coordenador de projetos BIM;
- Equipe de planejamento e controle: coordenadores de planejamento e controle, planejador, supervisor ou analista de planejamento, analista ou supervisor de controle, estagiários atuantes diretamente no setor, e ainda o gerente da obra (interseção com outras equipes);
- Equipe para suporte à preparação e coordenação das informações visuais de progresso: responsável por desenvolvimento e atualização dos modelos BIM 4D, responsável por realização dos voos com VANT em canteiro, responsável

por processamento das imagens e geração dos produtos fotogramétricos, e responsável por preparação dos modelos sobrepostos. As funções dessa equipe podem ser exercidas por integrantes das outras equipes, por pessoas especializadas contratadas para esse suporte, ou por empresas terceirizadas;

- Equipe de gestão geral da produção: gerente da obra (gerentes de contratos e/ou produção), analista ou supervisor de produção, técnicos e auxiliares de engenharia, e estagiários atuantes em canteiro;
- Equipe de coordenação direta da produção: técnicos e auxiliares de engenharia, estagiários atuantes em canteiro, mestre de obra e encarregados.

Na interseção entre agentes facilitadores e processos, os agentes serão os responsáveis pela adaptação da estrutura do método a ser implementada, definindo quais os tipos e os posicionamentos dos processos adotados (definição do fluxo de processos). Além disso, o fluxo de processos determina a conexão entre os diferentes tipos de agentes envolvidos, e deve haver uma compatibilização entre o fluxo de processos e o nível de atuação gerencial dos agentes associados à cada processo.

#### *5.5.1.2 Apresentação da Estrutura Final do Método Proposto*

Na Figura 45 é apresentado esquema com a estrutura final do método proposto, incluindo os fluxos de processos e produtos que a compõem e a indicação dos agentes facilitadores associados à cada processo. Essa estrutura final foi elaborada a partir das avaliações, ajustes e complementos na estrutura preliminar do método, resultantes das experiências de implementação nos Estudos de Caso.

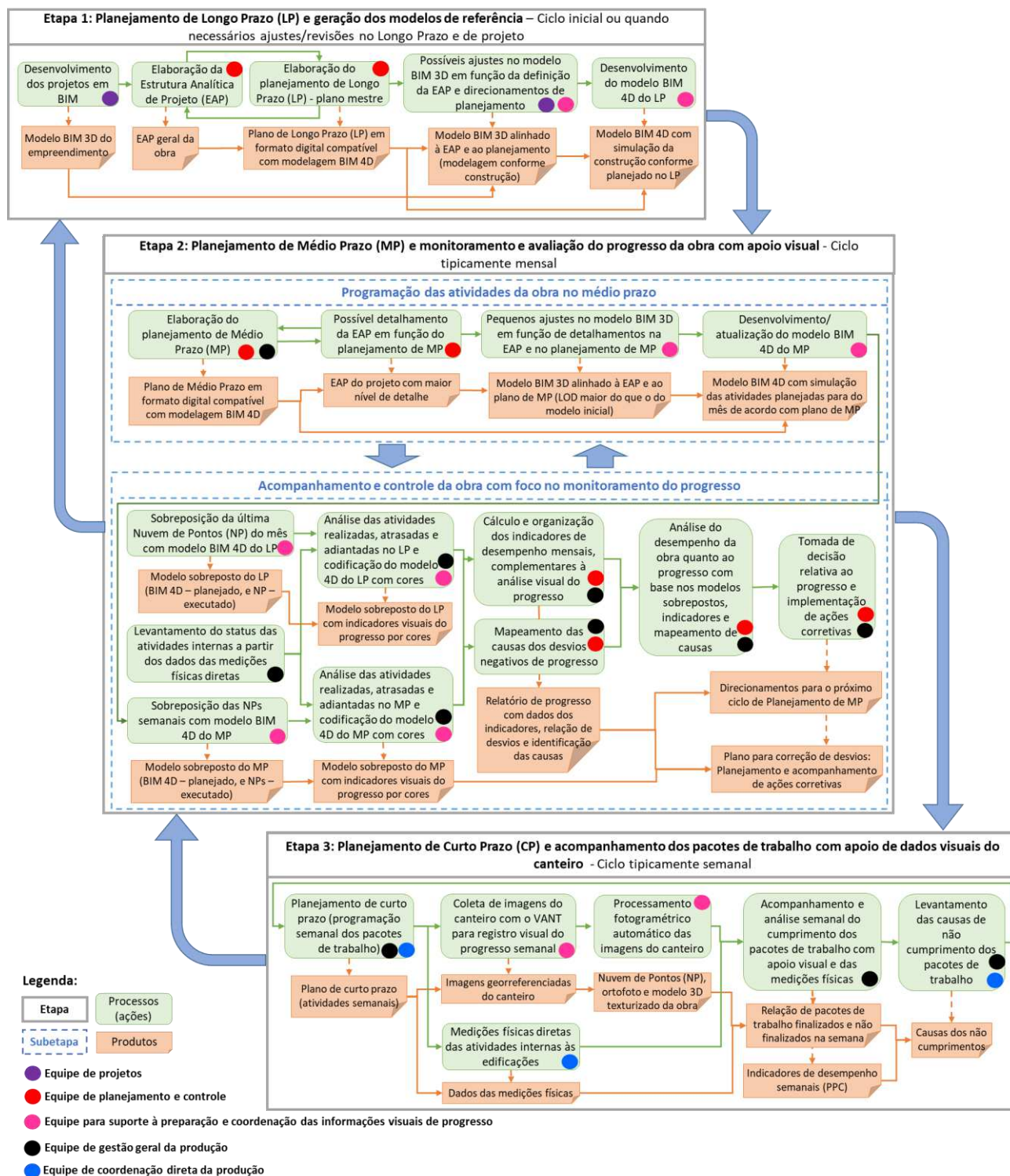
Na estrutura final do método proposto, a arquitetura de software e ferramentas sugeridas continuam as mesmas da proposta preliminar (apresentada no **Item 5.2** deste capítulo). A seguir serão brevemente descritas as etapas da estrutura final do método, conforme apresentadas na Figura 45.

#### Etapa 1 – Planejamento de Longo Prazo e Geração dos Modelos de Referência

A Etapa 1 é iniciada pelo desenvolvimento dos projetos executivos em BIM, pela equipe de projetos. Em seguida, a equipe de planejamento e controle elabora a EAP, juntamente com o planejamento de longo prazo. Com o plano de longo prazo e AEP definidos, caso julguem necessário, são feitos ajustes nos modelos BIM 3D em função da divisão das atividades adotadas na EAP e/ou direcionamentos de planejamento. Esses ajustes são feitos pela equipe de projetos, com apoio da equipe de suporte à

preparação e coordenação das informações visuais de progresso, já que eles serão os responsáveis por compatibilizar as informações do planejamento com o modelo 3D, no desenvolvimento do modelo 4D. A Etapa 1 é concluída pelo desenvolvimento do modelo BIM 4D referente ao plano de longo prazo.

Figura 45 - Estrutura final do método proposto: Fluxo de processos, produtos e agentes



Fonte: Elaborado pela autora

## Etapa 2 – Planejamento de Médio Prazo e Monitoramento e Avaliação do Progresso da Obra com Apoio Visual

A subetapa de programação das atividades da obra no médio prazo é iniciada com a elaboração do planejamento de médio prazo, pela equipe de planejamento e controle e equipe de gestão geral da produção. Caso necessário, alinhado a este processo inicial, a equipe de planejamento e controle também realiza subdivisões na EAP (maior detalhamento). Se as novas subdivisões na EAP ou decisões tomadas no planejamento de médio prazo resultarem na necessidade de pequenos ajustes nos modelos BIM 3D, visando a geração do modelo BIM 4D do médio prazo, tais ajustes são feitos pela equipe de suporte à preparação e coordenação das informações visuais de progresso. Esta subetapa é concluída pelo desenvolvimento do modelo BIM 4D referente ao plano de médio prazo.

A subetapa de acompanhamento e controle da obra com foco no monitoramento do progresso, começa pelo levantamento do status das atividades internas a partir dos dados das medições físicas diretas, realizado pela equipe de gestão geral da produção. Enquanto isso, a equipe de suporte à preparação e coordenação das informações visuais de progresso realiza a sobreposição da última nuvem de pontos do mês com o modelo BIM 4D do longo prazo, e sobreposição das nuvens de pontos semanais com o BIM 4D do médio prazo. A partir dos modelos sobrepostos e dos status das atividades internas, são analisadas as atividades realizadas, atrasadas e adiantadas, tanto com base no planejamento de médio prazo quanto com base no longo prazo, além de codificação dos modelos 4D com indicadores de cores para desvios de progresso. Esta análise da situação de progresso e codificação dos modelos é feita pela equipe de suporte à preparação e coordenação das informações visuais de progresso, juntamente com a equipe de gestão geral da produção.

A partir das informações visuais dos modelos e informações complementares de controle da produção, as equipes de planejamento e controle e gestão geral da produção realizam o cálculo dos indicadores de desempenho mensais (complementares à análise visual do progresso), juntamente com o mapeamento das causas de desvios negativos do progresso. Em seguida, as mesmas equipes analisam o desempenho da obra quanto ao progresso, com base nos modelos sobrepostos com indicadores de cores, indicadores medidos e mapeamento das causas de desvios. Por

fim, estas equipes tomam as decisões necessárias a respeito do controle do progresso e implementam ações corretivas aos desvios.

### Etapa 3 – Planejamento de Curto Prazo e Acompanhamento dos Pacotes de Trabalho com Apoio de Dados Visuais do Canteiro

A Etapa 3 é iniciada pelo planejamento de curto prazo com a programação semanal dos pacotes de trabalho, realizada pela equipe de gestão geral da produção, com apoio da equipe de coordenação direta da produção. Ao longo da semana, são feitas as medições físicas diretas das atividades internas, pela equipe de coordenação direta da produção. No final da semana, a equipe suporte à preparação e coordenação das informações visuais de progresso realiza a coleta de imagens do canteiro com o VANT, para registro visual do progresso semanal das atividades externas, além de processamento fotogramétrico dessas imagens para gerar os produtos do mapeamento 3D. Com os dados visuais e medição das atividades internas, a equipe de gestão geral da produção realiza o acompanhamento e análise semanal do cumprimento dos pacotes de trabalho. Por fim, são ainda levantadas as causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho, pelas equipes de gestão geral da produção e de coordenação direta da produção.

#### **5.5.2 Recomendações para Implementação do Método Proposto**

Com o objetivo de orientar a adoção e implementação do método em contextos reais, foi elaborado um conjunto de recomendações. A seguir são apresentadas essas principais recomendações, estruturadas como: (1) Recomendações preparatórias à implementação do método; e (2) Recomendações ao longo da implementação.

##### *5.5.2.1 Recomendações Preparatórias à Implementação do Método*

Tais recomendações se referem às decisões, preparações e definições importantes, prévias à implementação do método proposto. As mesmas incluem:

- Decisão de adoção e implementação do método envolvendo alta gerência e ainda em fases iniciais de desenvolvimento dos projetos: a alta e média gerência serão um dos principais articuladores para que seja possível a implementação do método, por este motivo, estes devem estar totalmente inseridos nessa decisão inicial. Pensando na exploração dos potenciais do

método proposto, esta decisão também não pode ser tomada em fases adiantadas de desenvolvimento do empreendimento.

- Mapeamento do sistema de Planejamento e Controle da Produção atual: é necessário que sejam revistas as características e limitações atuais do sistema de PCP adotado pela empresa, além de entendimento de como é atualmente realizado o monitoramento do progresso das obras, para direcionamentos dos futuros ajustes a partir da implementação.
- Delineamento e preparação das equipes de agentes facilitadores que estarão diretamente envolvidos na implementação: é necessário definir o papel e nível de atuação gerencial de cada agente facilitador que estará envolvido nos processos do método a serem adotados, bem como a estrutura das equipes que contém cada agente definido. Em seguida, é necessário avaliar as equipes atuais e preparar os agentes facilitadores (infraestrutura operacional), por meio da contratação de pessoas especializadas/qualificadas, e/ou treinamento da equipe atual. Esta preparação está principalmente associada à utilização e interação com as tecnologias propostas, mas também com os processos a serem implementados.
- Decisão do tipo de equipe a executar cada processo, em termos de equipe própria ou terceirizada: sugere-se que seja priorizada a execução dos processos propostos por equipe própria. No entanto, acredita-se ser viável a terceirização de alguns processos mais operacionais, como a aquisição de imagens do canteiro e geração dos produtos fotogramétricos, por exemplo.
- Definição do nível de aprofundamento da implementação a ser realizada: é necessário analisar qual o nível de reestruturação dos processos atuais de PCP se pretende, e se de fato serão implementados todos os produtos e processos propostos pelo método, ou quais exatamente busca-se implementar. Tais análises partirão da definição inicial de qual o objetivo a que se quer alcançar a partir da implementação do método proposto. Tal implementação pode ser inclusive progressiva, iniciando pela adoção e incorporação de apenas alguns processo e produtos, e aos poucos expandindo. Nem sempre as empresas possuem infraestrutura física e operacional que suporte a implementação completa do método de início.



- Escolha e aquisição dos softwares e ferramentas necessárias: essa é uma recomendação fundamental para a viabilização da implementação. É necessário definir todos os softwares e tecnologias a serem usadas, incluindo softwares BIM, software para processamento fotogramétrico e modelo do VANT. A partir dos mesmos, deverão ser pensados os suportes necessários em termos de compra ou aluguel das licenças, hardware com capacidade de processamento compatível (computador), dispositivos móveis, etc.
- Definição da estrutura da arquitetura de software a ser implementada: estruturação das conexões entre os softwares e sistemas adotados, entendendo as saídas e entradas que os conectam. Tal estruturação é importante para entendimento das necessidades de interoperabilidade, como formatos de arquivos suportados.
- Preparação ou adaptação das ferramentas de suporte: além das ferramentas principais, é necessário ajustar e/ou elaborar os protocolos para coleta de dados (planilhas, checklists), banco de dados, formato de relatórios, etc. Sempre ajustando e tentando compatibilizar as informações contidas com o nível de detalhamento dos dados requerido.
- Definição dos indicadores que serão medidos: definir o conjunto de indicadores julgados como importantes para complemento à análise visual do progresso, visando o melhor suporte à tomada de decisão.
- Definição dos intervalos de tempo para geração, atualização, e compartilhamento das informações: é importante essa definição prévia, pois isso ajudará na estruturação das rotinas dos processos adotados, dentro dos ciclos de implementação, principalmente, os mensais e semanais.
- Elaboração do fluxo de processos e produtos próprio (adaptação da estrutura geral do método): a partir de todas as definições e decisões anteriores, é recomendado que seja estruturado o fluxo próprio de processos, produtos, e agentes para implementação do método. Tal fluxo deve traduzir o objetivo geral e nível da implementação pretendida, e servirá de guia ao processo de implementação. O mesmo não precisa ser necessariamente fixo, ao longo da implementação acredita-se ser necessário revisões, em função da compreensão progressiva de necessidades que só serão percebidas na prática.

### 5.5.2.2 *Recomendações ao Longo do Processo de Implementação*

Tais recomendações se referem a importantes definições e revisões de decisões prévias, ocorridas ao longo do processo de implementação. As mesmas incluem:

- Buscar incorporar de fato o fluxo próprio do método (elaborado anteriormente) nas rotinas de PCP: o aproveitamento dos potenciais oferecidos pelos processos e produtos do método, principalmente em termos de melhoria dos fluxos de informações gerenciais e da atividade de monitoramento do progresso de obras, só será possível se, de fato, a sua estrutura for incorporada às rotinas de planejamento e controle das empresas construtoras.
- Revisão e ajustes das decisões tomadas previamente à implementação: é necessário, ao longo da implementação, revisar e reajustar os processos, produtos e agentes facilitadores que foram definidos na elaboração do fluxo próprio do método, em função do desenvolvimento prático da implementação em campo.
- Avaliações periódicas do processo de implementação: entende-se como necessário avaliar periodicamente como está a adoção dos novos processos e produtos, a partir da opinião dos diferentes agentes facilitadores envolvidos, e/ou da adoção de indicadores para avaliação de processos. Tal avaliação busca a melhoria contínua do sistema de PCP e da atividade de monitoramento do progresso da obra, pelo entendimento das limitações e dificuldades reais.
- Buscar meios de melhorar ou superar possíveis limitações identificadas: para que a melhoria contínua comentada anteriormente seja efetiva é necessário esforço dos envolvidos para a mitigação das dificuldades de forma atuante.
- Estimular a colaboração e valor percebido à implementação do método pelos agentes envolvidos: sem a colaboração de todos os envolvidos não será possível aproveitamento completo dos potenciais oferecidos pela implementação do método proposto. Inclusive, entende-se como necessário buscar envolver ativamente desde agentes responsáveis pela alta gerência, até aqueles que coordenam diretamente a produção no canteiro.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho, bem como sugestões para futuros trabalhos relacionados.

### 6.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO

O presente trabalho de dissertação teve por objetivo principal propor e avaliar um método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em mapeamentos 3D de canteiro com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D, focado na sua integração ao processo de Planejamento e Controle da Produção. Como forma de complementar o objetivo principal, foram ainda definidos os seguintes objetivos secundários: (a) Desenvolver e implementar uma sistemática gerencial para uso integrado e periódico das tecnologias de mapeamento 3D com VANT e BIM 4D, como as principais fontes de informação para o monitoramento do progresso; (b) Propor o uso integrado de indicadores de desempenho, como fontes de informação complementar ao monitoramento visual do progresso realizado com uso das tecnologias propostas; (c) Identificar e avaliar o impacto e valor agregado do fluxo de informações proporcionado pela implementação do método proposto, para a melhoria do monitoramento do progresso e do planejamento e controle da obra no geral; e (d) Propor recomendações para implementação do método proposto, visando sua integração ao planejamento e controle e às práticas gerenciais de obras.

Diante do que foi apresentado e discutido ao longo deste trabalho é possível perceber que os objetivos traçados foram atendidos, tendo culminado nas contribuições da pesquisa. Tais contribuições e os principais resultados do trabalho são abordados a seguir.

Como contribuição inicial pode-se destacar o desenvolvimento da estrutura do método proposto, tanto em sua versão preliminar como a estrutura final refinada em função da implementação e avaliação nos Estudos de Caso. O método proposto sistematiza o uso do mapeamento 3D de canteiro por VANT e BIM 4D, de maneira integrada aos processos de planejamento e controle da produção. A estrutura do método foi elaborada visando melhorar a comunicação, compreensão, avaliação e documentação do progresso da construção, de forma a proporcionar melhores fluxos de informação aos processos gerenciais relacionados.

Para tal, o método inclui uma sistemática com procedimentos gerenciais de preparação, coleta, processamento e análise de dados, e tomada de decisão em relação ao avanço da obra e possíveis desvios de progresso. Seus processos, produtos e interação entre agentes facilitadores envolvidos estão organizados em três grandes etapas, respectivamente associadas ao planejamento e controle de longo, médio e curto prazo: (1) Planejamento de longo prazo e geração dos modelos de referência; (2) Planejamento de médio prazo e monitoramento e avaliação do progresso da obra com apoio visual; e (3) Planejamento de curto prazo e acompanhamento dos pacotes de trabalho com apoio de dados visuais do canteiro.

Ao tentar situar os principais elementos dessa estrutura do método proposto, foi possível entender também a importância dos: (a) **Processos** que definem o método, representando o escopo principal da estrutura do mesmo; (b) **Produtos** propostos a partir do método, que funcionam como as principais fontes de informação aos processos gerenciais integrados ao método; e (c) **Agentes** facilitadores envolvidos na implementação do método, como os responsáveis pela viabilização prática do processo de implementação.

Para a elaboração da estrutura do método foram consideradas três principais bases de fundamentação: (1) o embasamento prático inicial desenvolvido a partir do estudo exploratório em canteiro; (2) a fundamentação teórica a partir da revisão da literatura e estrutura conceitual do trabalho; e (3) o embasamento prático mais aprofundado pela implementação e avaliação do método nos Estudos de Caso.

O embasamento prático para elaboração da proposta preliminar do método foi desenvolvido a partir de testes das ferramentas associadas e entendimento dos processos práticos preparatórios à sua implementação, em estudo exploratório. Tais testes e processos práticos fundamentaram a construção do artefato, ao testar a operacionalização de alguns pontos considerados chave. Estes pontos chave incluíram análises dos seguintes requisitos práticos: (a) nível de visibilidade requerido ao modelo de nuvem de pontos; (b) nível de detalhamento requerido à Estrutura Analítica de Projeto (EAP); (c) nível de desenvolvimento requerido ao modelo BIM 3D (LOD); e (d) procedimento para sobreposição de nuvem de pontos ao modelo BIM 4D, identificação visual e codificação do progresso com indicadores de cores na plataforma Navisworks.

Para o nível de visibilidade requerido à nuvem de pontos, foi observado que o processamento fotogramétrico no software PhotoScan seguindo o parâmetro de “*Média qualidade de reconstrução*” se mostrou ideal para a geração dos modelos de nuvens de pontos usados no monitoramento visual do progresso. Em relação ao nível de detalhamento requerido da EAP, identificou-se ser necessário a compatibilização dos subníveis da EAP com: (a) a maneira como os serviços serão executados em canteiro; (b) o tempo de ciclo de execução de cada serviço; e (c) a periodicidade e maneira como os serviços são medidos para monitoramento do progresso à nível operacional. Já o LOD do modelo BIM necessário para uso no monitoramento do progresso, foi identificado como ideal um LOD variando de 300 a 400.

Por fim, o procedimento desenvolvido para identificação e comunicação visual do progresso, a partir dos modelos sobrepostos (BIM 4D e nuvem de pontos) no software Navisworks, resultou no passo a passo para: (1) importação da nuvem de pontos para a plataforma do Navisworks; (2) alinhamento dos modelos; (3) identificação visual das diferenças e semelhanças do progresso planejado e real pelos modelos sobrepostos; e (4) criação de regras para a comunicação visual dos desvios de progresso com indicadores de cores em simulação 4D. Este procedimento teve como resultado principal a sistematização e operacionalização do uso desse software para o monitoramento visual do progresso de obras.

Quanto à fundamentação teórica para o desenvolvimento do método proposto, com base na revisão da literatura foi possível entender as limitações das formas tradicionais de monitoramento do progresso, que ainda são pautadas em frequentes observações individuais, aquisição manual de dados, interpretações subjetivas e documentação textual. Assim, possuem como principais problemas o grande esforço e tempo gasto para coleta, atualização e análise dos dados, além de incertezas, falhas e variabilidades na troca de informações sobre o progresso das atividades da obra.

Buscando a melhoria de tais aspectos, a forma de monitoramento do progresso considerada no método proposto se baseia em dados visuais do progresso real, por registro visual do canteiro, e dados visuais do progresso planejado, a partir de uso de tecnologias digitais como ferramentas de gestão visual. Esta abordagem proposta visa a obtenção de um monitoramento do progresso mais integrado, rápido, eficiente, transparente e colaborativo, retornando informações chave para a tomada de decisão.

No entanto, vê-se a necessidade, frente ao perfil da maioria dos estudos e pesquisas atuais relacionados à temática, que se concentram apenas no desenvolvimento de sistemas customizados próprios para automatização do monitoramento visual do progresso; de tentar entender na prática como tais melhorias esperadas podem ser alcançadas, e quais os reais impactos dessa nova forma de monitoramento do progresso para o PCP. Em função disso, o presente trabalho tem como contribuição não só a proposição, mas também a implementação e análise aprofundada do método proposto em contextos reais, no qual buscou-se entender como tais melhorias a respeito da eficiência, colaboração, transparência, entre outros aspectos positivos esperados, podem ser alcançadas e como são observadas e avaliadas pelos principais intervenientes.

Além disso, como o monitoramento do progresso faz parte das atividades de PCP das obras, é necessário que este seja sistematizado e integrado à estrutura contínua das etapas e procedimentos de PCP, para que seja possível a manutenção do fluxo de produção conforme planejado. Assim, pensando numa visão gerencial da adoção das tecnologias propostas, é destacada a importância e contribuição do método por estruturar e propor uma rotina gerencial para incorporação das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D às dinâmicas de gerenciamento das obras. A partir da elaboração e implementação do método foram levantados quais são os pré-requisitos técnicos, tecnológicos, a formatação dos processos gerenciais, estratégias e recursos necessários, além de posicionar o papel atuante, as competências e habilidades requeridas à equipe gerencial envolvida.

A implementação do método nos dois Estudos de Caso desenvolvidos foi fundamental para o seu teste e avaliação, complementando o embasamento prático inicial e principalmente o teórico para a construção da estrutura final do método. O primeiro Estudo de Caso foi um Estudo mais longo e estruturado, tendo como principal característica um perfil bastante intervencionista, com maior incorporação e aderência aos processos proposto pelo método e participação mais ativa da equipe da obra. O segundo Estudo de Caso foi mais curto e funcionou de maneira complementar ao primeiro, apresentando um perfil menos intervencionista e mais observacional.

Tais Estudos de Caso permitiram avaliar, a partir de contextos reais, a integração das tecnologias digitais propostas ao PCP das obras estudadas, sendo possível, portanto, entender os benefícios e as dificuldades do método e de sua implementação.

Além disso, foi possível compreender o impacto desse novo fluxo de informações para o monitoramento do progresso e demais processos gerenciais relacionados.

Nos Estudos de Caso foram avaliados os processos de implementação, pela análise de impactos nas dinâmicas gerenciais das obras, e a estrutura do método em si. Estas avaliações tiveram como base nos seguintes constructos de pesquisa:

- Constructos associados à avaliação da implementação nos Estudos de Caso: **Impacto na identificação e avaliação do progresso, Transparência e Colaboração;**
- Constructos associados à avaliação da estrutura do método proposto: **Utilidade do método e Facilidade de adoção e integração do método.**

Em relação à avaliação da implementação no Estudo de Caso 1, foi possível identificar os seguintes benefícios relacionados diretamente à adoção das tecnologias e ferramentas propostas: (a) melhor compreensão de informações relacionadas ao monitoramento do progresso; (b) identificação, análise e documentação mais clara do progresso; (c) melhor monitoramento da eficácia do planejamento e desempenho da produção; (d) visualização mais completa e precisa da situação atual do canteiro (progresso real); e (e) estruturação, melhor identificação e documentação das causas de desvios do progresso planejado.

Além disso, foram também identificados ganhos relacionados a mudanças de posturas gerenciais, não diretamente ligada à adoção das tecnologias propostas, mas à estruturação e sistematização gerencial, incluindo: (a) maior envolvimento e interação da equipe gerencial na atividade de monitoramento do progresso; (b) melhores direcionamentos para elaboração do planejamento; (c) menor tempo de reação na tomada de decisão e aplicação de ações corretivas aos desvios negativos; (d) participação mais efetiva e colaborativa da equipe de coordenação direta da produção no planejamento e controle; (e) melhor alinhamento das metas de produção e comprometimento com o cumprimento das mesmas; e (f) melhor estruturação dos processos de planejamento no nível de curto prazo.

No entanto, como principais limitações observadas na implementação no Estudo de Caso 1, pode-se destacar: (a) menor impacto e valor percebido pelo Coordenador da Obra (principal representante da média gerência envolvido na implementação); (b) entendimento da necessidade de uma integração e incorporação ainda mais estrutural

e consolidada dos processos e produtos do método com o sistema de PCP da empresa; e (c) necessidade de maior familiarização e conhecimento técnico da equipe da obra com as tecnologias aplicadas, visando maior autonomia sobre esta nova forma de monitoramento do progresso.

Na avaliação da implementação no Estudo de Caso 2 foram identificados benefícios principalmente relacionados à adoção das tecnologias e ferramentas propostas, para apoio em alguns dos procedimentos gerenciais adotados pela construtora. Nesse caso não foram percebidos benefícios em relação a mudanças de postura gerencial, por conta do caráter pouco intervencionista desse Estudo.

Os benefícios levantados à implementação no Estudo de Caso 2 estão relacionados à: (a) melhor identificação de desvios de progresso, apoiando nos direcionamentos para o replanejamento mensal da obra; (b) visualização geral de todo o canteiro, contribuindo para a tomada de decisão em relação a desvios no progresso semanal das atividades externas; (c) visualização do progresso da obra com amplitude e maior transparência; (d) melhor visualização e tomada de decisão quanto ao plano de ataque e logística do canteiro; (e) equipes gerenciais que não trabalham diretamente no campo passaram a acompanhar o progresso da obra de maneira mais próxima; e (f) as equipes de produção (encarregados) passaram a enxergar melhor o progresso da sua atividade e acompanhar o avanço das outras equipes.

No Estudos de Caso 2 foram também identificadas limitações ao processo de implementação, podendo ser destacadas: (a) menor compatibilidade entre a estrutura gerencial proposta no método e estratégias gerenciais adotados pela empresa; (b) menor abertura da equipe da obra à implementação de mudanças gerenciais estruturais propostas pelo método; (c) pouco tempo de implementação; (d) menor impacto e valor percebido pela Coordenadora de Planejamento (principal representante da média gerência envolvida na implementação); e (e) pouco conhecimento e familiarização da equipe da obra com as tecnologias propostas e com os novos processos de trabalho, juntamente como pouco tempo para aprendizado.

Dessa forma, como análise geral da contribuição em relação aos benefícios e dificuldades, avaliados a partir da implementação desse novo processo de monitoramento do progresso em contextos reais, foi possível perceber que benefícios ligados ao aumento da **Transparência** foram mais facilmente percebidos nos dois Estudos de Caso. Já o valor percebido quanto aos **Impactos da identificação e**



**avaliação do progresso** foi mais bem avaliado no Estudo 1, no qual obteve-se uma resposta geral mais positiva da equipe da obra quanto à aplicação dos processos e uso dos produtos propostos. Por outro lado, o impacto da implementação no aumento da **Colaboração** foi mais bem avaliado no Estudo 2, no qual foi principalmente destacado o feedback positivo da equipe de coordenação direta em canteiro, quanto ao uso dos produtos visuais para apoio à tomada de decisão gerencial conjunta.

Entretanto, um ponto de atenção importante a ser destacado nas avaliações desses constructos foi o entendimento do valor percebido pela média gerência em relação à implementação, que nos dois Estudos de Caso foram menores em comparação aos demais intervenientes. É necessário entender qual a forma ideal de atuação e envolvimento dos mesmos dentro da estrutura do método, e qual o nível de informação deve ser transmitido à média e alta gerência. A colaboração destes é fundamental para o suporte à implementação e adoção dessa nova forma de monitoramento do progresso de obras.

Quanto à avaliação da estrutura do método em si, nas experiências dos Estudos de Caso foram avaliados tanto os seus processos quanto os seus produtos como de alta importância e fácil compreensão. Entretanto, em relação à adequação na implementação e facilidade de aplicação, quase que 50% dos entrevistados, em ambos Estudos, avaliaram como médio o nível de adequação de alguns processo e produtos, e média a facilidade de aplicação destes nas obras. Em ambos Estudos foi ressaltada a necessidade de algumas mudanças no método, mas principalmente mudanças nos sistemas de PCP e cultura das empresas, para que pudessem ser efetivamente incorporados os produtos e processos do método.

Como **Utilidade** geral da estrutura do método, pode ser principalmente destacado a integração e sistematização das atividades gerenciais, das conexões e usos das ferramentas propostas, identificação de requisitos, necessidades, habilidades e levantamento dos principais agentes facilitadores diretamente ligados à implementação, servindo como guia e suporte à adoção prática das tecnologias de mapeamento 3D por VANT e BIM 4D, de maneira integrada ao PCP. Outros benefícios e utilidades específicos já foram comentados ao longo desse capítulo.

No entanto, limitações gerais relacionadas à estrutura do método foram ainda destacadas, tais como: (a) a demanda, muitas vezes, por mudanças de cultura e nas estratégias gerenciais internas das empresas, sendo essencial que as empresas

enxerguem valor na adoção das tecnologias propostas para investir em mudanças dessas proporções; (b) o estágio inicial de utilização do BIM e de outras tecnologias digitais pelas empresas construtoras para paio à gestão em canteiros, associado à pouca experiência, familiaridade e conhecimento técnico das equipes das obras a respeito das mesmas; (c) detalhamentos excessivos e pouca objetividade de informações, percebidos para alguns dos protocolos sugeridos para coleta de dados; e (d) necessidade de ajustes no tempo de atualização e geração das informações e arquivos propostos, em função dos tempo das atividades gerencias das obras.

As duas primeiras dessas limitações dependem de uma mudança de pensamento e estratégia das empresas e da mentalidade geral do setor da construção civil brasileira, que aos poucos está começando a de fato a enxergar valor na digitalização de sues processo e adoção dessas tecnologias digitais, inclusive impulsionado pelo contexto atual de evidência da indústria da construção 4.0. Já as outras duas limitações, são questões relacionadas mais propriamente ao escopo do método proposto, que podem ser facilmente consideradas para ajustes e aprimoramentos em futuras implementações e em futuros estudos relacionados.

Além dessas, duas outras limitações podem ser levantadas. A primeira seria a impossibilidade de medição visual do progresso de atividades internas às edificações, estando relacionada à tecnologia escolhida para registro visual do canteiro, o VANT.

Nos dois estudos de caso, foram medidos valores mensais iniciais de “percentual do total de Avanço que foi Medido Visualmente” (indicador AMV) bastante significativos, representando mais de 50% do total de avanço medido nos meses, o que indica elevado impacto do mapeamento 3D para a avaliação visual do progresso real. No entanto, também foi observado, em ambos Estudos, uma queda progressiva dos valores de AMV ao longo das implementações, tanto pelo aumento da proporção de atividades executadas internamente aos prédios, quanto por atrasos significativos em atividades externas impactantes. Por conta disso, acredita-se que deve ser estudado e ponderado, caso necessário, o uso da tecnologia em determinadas fases das obras, nas quais as atividades visíveis nos mapeamentos 3D possuem relevância justificável, ou em tipologias de obras com elevado percentual de atividades externas.

A outra limitação seria a não incorporação de sistemas automatizados para o monitoramento visual do progresso, indo na contramão de vários estudos relacionadas à temática que já abordam o desenvolvimento de tais sistemas. Esta

limitação esteve relacionada a três aspectos: (1) a proposta do presente estudo, que foca na estruturação dos processos gerenciais para uso das tecnologias e avaliação do valor agregado das informações proporcionadas pelas mesmas; (2) a falta de conhecimento da pesquisadora em relação ao desenvolvimento de sistemas próprios automatizados, que demanda conhecimentos de programação, visão computacional, e em abordagens mais recentes, conhecimento ainda sobre aprendizado de máquina; e (3) a tentativa de viabilização do uso de softwares comerciais, que possuem acesso mais fácil, estimulando a adoção do método por empresas e usuários do mercado.

Como contribuição final do presente trabalho, pode ser destacado ainda o desenvolvimento de recomendações para orientar a adoção e implementação do método em contextos reais. As recomendações buscam a integração efetiva das atividades e produtos do método às dinâmicas de planejamento e controle das obras, e tentar proporcionar condições propícias ao aproveitamento das potencialidades oferecidas pela sua implementação. Tais recomendações foram classificadas em dois tipos: (1) aquelas preparatórias à implementação do método, consideradas como fundamentais para viabilização da implementação; e (2) recomendação a serem seguidas ao longo da implementação, para melhoria contínua do processo.

Assim, em vista a todos os resultados e contribuições comentados, é possível perceber o avanço na temática abordada pelo presente trabalho, apesar de algumas limitações e delimitações realizadas. Como avanço no conhecimento em relação aos estudos mais recentes e de maior destaque relacionadas à temática (já citados ao longo do trabalho), que inclusive serviram de inspiração e embasamento, a presente pesquisa se destaca pelo desenvolvimento e avaliação de um modelo gerencial que guia a aplicação prática em contextos reais e incorporação das tecnologias digitais propostas às rotinas de PCP. Nesse trabalho foi desenvolvido, formalizado, implementado e avaliado essa nova maneira proposta para monitoramento visual do progresso de obras, a partir do uso de mapeamentos 3D de canteiro por VANT e BIM 4D em contextos reais. A partir do mesmo, foi identificado um avanço significativo no entendimento do impacto desse novo fluxo de informações gerenciais, proporcionado pela adoção de tais tecnologias, sendo levantados os principais benefícios e dificuldades à implementação do método proposto.

Além disso, pode ser destacado o papel da pesquisadora no presente estudo, relacionado à viabilização das implementações do método proposto em contextos

como os das empresas brasileiras de construção civil. Por conta da falta, muitas vezes, de estruturação gerencial formal e conhecimento ainda muito superficial a respeito das tecnologias aplicadas, foi necessário um grande esforço e demanda de tempo da pesquisadora nos processos preparatório à implementação do método, mas também nas rotinas de coleta, processamento, análise e discussão dos dados gerados com as equipes gerenciais das obras. Foi percebida a necessidade do apoio e intervenção direta da pesquisadora para uma implementação efetiva do método nas obras. Em função disso, vê-se e a necessidade de simplificar alguns dos processos e requisitos, visando tornar mais simples a implementação futura desse método, ou o desenvolvimento de estudos futuros sobre a aplicação de tais tecnologias para monitoramento do progresso de obras.

## 6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir das experiências obtidas nos Estudos de Caso e análise geral das limitações do método proposto, sugere-se os seguintes aspectos, julgados como interessantes para serem trabalhados em estudos futuros relacionados:

- Simplificação de passos e etapas relacionados à operacionalização da pesquisa e atuação direta do pesquisador na implementação do método proposto, visando facilitar a utilização do mesmo e do conhecimento agregado pelo presente trabalho como base para futuros estudos relacionados.
- Teste de funcionalidades do método que ainda não foram testadas, ou foram pouco exploradas nos Estudos de Caso do presente trabalho. Estas incluem, por exemplo, teste da ferramenta Power BI para a geração de relatórios de progresso no formato de *dashboards* online, integração de outros indicadores de desempenho além daqueles sugeridos e testados nesta pesquisa, e implementação de planos de ação estruturados para aplicação e controle de ações mitigadoras aos desvios negativos de progresso.
- Desenvolvimento e incorporação, na estrutura do método, de sistemas automatizados para processamento e análise e compartilhamento digital de dados, visando explorar o que se tem de mais moderno para a melhoria do monitoramento do progresso de obras, no entanto, de uma maneira de fato integrada aos sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

- Tentativa de incorporar formas para automatizar e deixar mais visual o monitoramento do progresso real de atividades internas às edificações.
- Análise financeira dos investimentos necessários para a implementação das tecnologias e ferramentas propostas pelo método, além de análise do retorno desse investimento em função dos menores desvios de progresso e, conseqüentemente, menores desvios de prazo e custos das obras.
- Teste da implementação do método em outros perfis de sistemas de Planejamento e Controle da produção (PCP), e em outras tipologias de obras.
- Teste da implementação do método em uma empresa que já tenha o BIM implantado, visando a compreensão mais aprofundada dos impactos gerenciais e valor agregado para o PCP, a partir da adoção esperada como mais rápida e fácil dos processos e produtos do método.
- Teste de uma experiência completa e mais aprofundada de implementação, com maior integração dos processos do método aos procedimentos gerenciais da empresa e abrangendo toda a obra, das etapas de pré-contratação até sua conclusão. Tal experiência também visa uma compreensão mais aprofundada dos impactos gerenciais e valor agregado do método proposto.
- Integração e avaliação da implementação do método proposto juntamente com outros métodos ou sistemas que proponham a utilização de tecnologias digitais para gerenciamento de obras. Tais outros sistemas podem focar em outras variáveis gerenciais, tais como, custo, produtividade, verificação de qualidade e segurança em canteiros, análises logísticas e de redução de perdas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)**. Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. Brasília: ANAC, 2017.

AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.3**. Agisoft LLC: 2017. 105 p.

AKKARI, A. M. P. **Interligação entre o Planejamento de Longo, Médio e Curto Prazo com o Uso do Pacote Computacional *MSProject***. 2003. 145 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ALIZADEHSALEHIA, S.; YITMEN, I. The Impact of Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Project Progress Monitoring. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 97-103, 2016.

ÁLVARES, J. S. **Mapeamento 3D de canteiros via imagens coletadas com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**. 124 p. 2016. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

ÁLVARES, J. S.; COSTA, D. B.; MELO, R. R. S. Exploratory study of using unmanned aerial system imagery for construction site 3D mapping. **Construction Innovation**, v. 18, n. 3, p. 301-320, 2018.

ÁLVARES, S. J.; COSTA, B. D.; MELO, R. R. S.; BELLO, A. A. Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 5067-5080.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **AIA Document G202TM – 2013: Project Building Information Modeling Protocol Form**. US: AIA, 2013.

AUTODESK. **NAVISWORKS**, 2018a. Autodesk Inc. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/overview>>. Acesso em: jan. 2018.

AUTODESK. **REVIT**, 2018b. Autodesk Inc. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/overview>>. Acesso em: jan. 2018.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. 192 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham. 2000.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: Essential Step in Production Control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11-17, 1998.

BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. **Current Process Benchmark for the Last Planner System**. 2016. Disponível em: <p2sl.berkeley.edu>. Acesso em: mai. de 2018.

BARBOSA, A.; COSTA, D.; MELO, R.; ÁLVARES, J.; MENDES, C. Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para Geração de Produtos Fotogramétricos Aplicados à Gestão de Obras. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 1., e Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 10., 2017, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

BEMIS, S. P.; MICKLETHWAITE, S.; TURNER, D.; JAMES, M. R.; AKCIZ, S.; THIELE, S. T.; BANGASH, H. A. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. **Journal of Structural Geology**, v. 69, p. 163-178, 2014.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas de Construção**. 2001. 293 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERNARDES, M. M. S. **Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

BHATLA, A.; CHOE, S. Y.; FIERRO, O.; LEITE, F. Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras. **Automation in Construction**, v. 28, p. 116-127, 2012.

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, 2015.

BRAUN, A.; TUTTAS, S.; BORRMANN, A.; STILLA, U. A concept for automated construction progress monitoring using BIM-based geometric constraints and photogrammetric point clouds. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 20, p. 68-79, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Fundamentos BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016.

CHECCUCCI, E. S.; AMORIM, A. L. Modelagem da informação da construção como inovação tecnológica. In: TIC 2011 – ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2011, Salvador. **Anais...** Salvador: FAUFBA, 2011.

CHEN, S.-M.; GRIFFIS, F. H. (B.); CHEN P.-H.; CHANG, L.-M. A framework for an automated and integrated project scheduling and management system. **Automation in Construction**, v. 35, p. 89-110, 2013.

COELHO, L; BRITO, J. **Fotogrametria digital**. Instituto Militar de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: EDUERJ, p. 196, 2007.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p. 79-97, 2014.

COSTA, D. B. **Diretrizes para Concepção, Implementação e Uso de Sistemas de Indicadores de Desempenho para Empresas da Construção Civil**. 2003. 174 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T.; LIMA, H. M. R.; BARTH, K. B. **SISIND-NET - Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil: Manual de Utilização**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2005.

DANG, T. P. D.; TARAR, M. **Impact of 4D Modeling on Construction Planning Process**. 2012. 46 p. Thesis (Master of Science) - Master Program of Design and Construction Project Management, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Construction Management, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2012.

DEL PICO, W. J. **Project Control: Integrating Cost and Schedule in Construction**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A. V. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, 2015.

DJI. **Phantom 3 Advanced: User Manual**, V1.8. 2017a. 59 p.

DJI. **Phantom 4 Advanced / Advanced+: Manual do Usuário**, V1.0. 2017b. 67 p.

EASTMAN, C. M. **Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction**. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1999.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. John Wiley & Sons, Inc., 2008.

EBERT, D. S. Extending Visualization to Perceptualization: The Importance of Perception in Effective Communication of Information. In: HANSEN, C. D.; JOHNSON, C. R. **The visualization handbook**. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. Cap. 39.

EISENBEIß, H. **UAV Photogrammetry**. 2009. 203 p. Dissertation (Doctor of Sciences) - Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, University of Technology Dresden, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich. 2009.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; ALVES, T. C. L.; OLIVEIRA, K. A. **Planejamento e Controle da Produção em Empresas de Construção**. Porto Alegre: UFRGS/NORIE, 2001.

FORMOSO, C. T.; SANTOS, A.; POWELL, J. A. An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites. **Journal of Construction Research**, v. 3, n. 1, p. 35-54, 2002.



GALSWORTH, G. D. **Visual systems: Harnessing the power of visual workplace**. Nova Iorque: AMACOM, 1997.

GALSWORTH, G. D. **Visual workplace: Visual thinking**. Portland: Visual-Lean enterprise press, 2005.

GARCIA-LOPEZ, N. P.; FISCHER, M. A System to Track Work Progress at Construction Jobsites. In: Industrial and Systems Engineering Research Conference, 2014. **Proceedings...**, 2014.

GOLPARVAR-FARD, M.; BOHN, J.; TEIZER, J.; SAVARESE, S., PEÑA-MORA, F. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. **Automation in Construction**, v. 20, n. 8, p. 1143-1155, 2011.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; ARBOLEDA, C. A.; LEE, SH. Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 6, p. 391-404, 2009.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. Automated Progress Monitoring Using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-Based Building Information Models. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 1, 2015.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. D4AR-A 4-Dimensional Augmented Reality Model for Automating Construction Progress Monitoring Data Collection, Processing and Communication. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 14, p. 129-153, 2009.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”:** estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. 372 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. de. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. In: SIGRADI 2012 – Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, 16., 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SIGRADI, 2012. p. 361-365.

HALPIN, D. W.; SENIOR, B. A. **Construction Management**. ed. 4. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

HAM, Y.; HAN, K. K.; LIN, J. J.; GOLPARVAR-FARD, M. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. **Visualization in Engineering**, v. 4, n. 1, 2016.

HAN, K. K.; CLINE, D.; GOLPARVAR-FARD, M. Formalized knowledge of construction sequencing for visual monitoring of work-in-progress via incomplete point clouds and low-LOD 4D BIMs. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 889-901, 2015.

- HAN, K. K.; GOLPARVAR-FARD, M. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs. **Automation in Construction**, v. 53, p. 44-57, 2015a.
- HAN, K. K.; GOLPARVAR-FARD, M. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study. **Automation in Construction**, v. 73, p. 184-198, 2017.
- HAN, K.; DEGOL, J.; GOLPARVAR-FARD, M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 2, 2018.
- HAN, K.K.; GOLPARVAR-FARD, M. The Role of Integrated Plan and As-built Models in Achieving Smooth Flow of Production in Construction. In: International Conference on Innovative Production and Construction (IPC 2015), 2015, Perth. **Proceedings...** Perth: IPC, 2015b. p. 101-104.
- HANSEN, C. D.; JOHNSON, C. R. **The visualization handbook**. Elsevier Butterworth–Heinemann, 2005.
- ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M. de; HIROTA, E. H.; ALVES, T. C. L. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.
- JUNG, Y.; KANG, S. Knowledge-Based Standard Progress Measurement for Integrated Cost and Schedule Performance Control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 133, n. 1, p. 10-21, 2007.
- KANG, L.; PYEON, J.; MOON, H.; KIM, C.; KANG, M. Development of Improved 4D CAD System for Horizontal Works in Civil Engineering Projects. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 27, p. 212-230, 2013.
- KARSCH, K.; GOLPARVAR-FARD, M.; FORSYTH, D. ConstructAide: Analyzing and Visualizing Construction Sites through Photographs and Building Models. **ACM Transactions on Graphics**, v. 33, n. 6, 2014.
- KASSEM, M.; DAWOOD, N.; CHAVADA, R. Construction workspace management within an Industry Foundation Class-Compliant 4D tool. **Automation in Construction**, v. 52, p. 42-58, 2015.
- KIM, C.; SON, H.; KIM, C. Fully automated registration of 3D data to a 3D CAD model for project progress monitoring. **Automation in Construction**, v. 35, p. 587-594, 2013.
- KIM, S.; IRIZARRY, J. Exploratory Study on Factors Influencing UAS Performance on Highway Construction Projects: as the Case of Safety Monitoring Systems. In: Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure, 2015, Ames. **Proceedings...** Ames: Iowa State University, 2015.
- KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D. B.; MENDES, A. T. C. Lessons Learned from Unmanned Aerial System-Based 3D Mapping Experiments. In: Associated Schools of Construction (ASC) Annual International Conference, 52., 2016, Provo. **Proceedings...** Provo: ASC, 2016.

KOPSIDA, M.; BRILAKIS, I.; VELA, P. A. A Review of Automated Construction Progress Monitoring and Inspection Methods. In: CIB W78 Conference, 32., 2015, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: CIB, 2015.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford University, EUA: CIFE. 1992. (Technical Report 72).

KVAN, T. Collaborative design: what is it? **Automation in Construction**, v. 9, p. 409-415, 2000.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013, São Carlos.

LAUFER, A.; COHENCA, D. Factors Affecting Construction-Planning Outcomes. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 116, n. 1, p. 135-156, 1990.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, v. 5, n. 3, p. 243-266, 1987.

LIN, J. J.; GOLPARVAR-FARD, M. Proactive Construction Project Controls via Predictive Visual Data Analytics. In: ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2017, Seattle. **Proceedings...** Seattle: ASCE, 2017. p. 147-154.

LIN, J. J.; HAN, K. K.; GOLPARVAR-FARD, M. A Framework for Model-Driven Acquisition and Analytics of Visual Data Using UAVs for Automated Construction Progress Monitoring. In: ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2015, Austin. **Proceedings...** Austin: ASCE, 2015. p. 156-164.

MALSANE, S. M.; SHETH, A. Z. Simulate Construction Schedules Using BIM 4D Application to Track Progress. **International Journal of Mechanical and Production Engineering**, v. 3, n. 6, p. 54-58, 2015.

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

MARTÍNEZ-ROJAS, M.; MARÍN, N.; VILA, M. A. The Role of Information Technologies to Address Data Handling in Construction Project Management. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 4, 2016.

MARTINS, G. A.; PELISSARO, J. Sobre Conceitos, Definições e Constructos nas Ciências Contábeis. **BASE – Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**. v. 2, n. 2, p. 78-84, 2005.

MCCABE, B. Y.; HAMLEDARI, H.; SHAHI, A.; ZANGENEH, P.; REZAZADEH AZAR, E. Roles, Benefits, and Challenges of Using UAVs for Indoor Smart Construction Applications. In: ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2017, Seattle. **Proceedings...** Seattle: ASCE, 2017. p. 349-357.

MCCORMICK, B. H.; DEFANTI, T. A.; BROWN, M. D. **Visualization in Scientific Computing**. Nova Iorque: ACM SIGGRAPH, 1987.

MCCOY, A. P.; GOLPARVAR-FARD, M.; RIGBY, E. T. Reducing Barriers to Remote Project Planning: Comparison of Low-Tech Site Capture Approaches and Image-Based 3D Reconstruction. **Journal of Architectural Engineering**, v. 20, n. 1, 2014.

MELO JÚNIOR, C. M. **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. 2016. 376 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

MELO, R. R. S. de; COSTA, D. B.; ÁLVARES, J. S.; IRIZARRY, J. Applicability of Unmanned Aerial System (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety Science**, v. 98, p. 174-185, 2017.

MICROSOFT. **Power BI**, 2018a. Microsoft 2018. Disponível em: <<https://powerbi.microsoft.com/pt-br/>>. Acesso em: jan. 2018.

MICROSOFT. **Project Online Professional**, 2018b. Microsoft 2018. Disponível em: <[https://products.office.com/pt-br/project/project-online-professional?&wt.mc\\_id=AID522587\\_SEM\\_9L1KljGR&gclid=CjwKCAiAnabTBRA6EiwAemvBdxE-o4EKQBixg9ibQeSZoR6B-RqcY5f9ctWT3wi6YjcrOEazPG4IFhoCd5gQAvD\\_BwE](https://products.office.com/pt-br/project/project-online-professional?&wt.mc_id=AID522587_SEM_9L1KljGR&gclid=CjwKCAiAnabTBRA6EiwAemvBdxE-o4EKQBixg9ibQeSZoR6B-RqcY5f9ctWT3wi6YjcrOEazPG4IFhoCd5gQAvD_BwE)>. Acesso em: jan. 2018.

MORGENTHAL, G.; HALLERMANN, N. Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures. **Advances in Structural Engineering**, v. 17, n. 3, p. 289-302, 2014.

NAVON, R. Automated project performance control of construction projects. **Automation in Construction**, v. 14, p. 467-476, 2005.

NAVON, R. Research in automated measurement of project performance indicators. **Automation in Construction**, v. 16, p. 176-188, 2007.

NAVON, R.; SACKS, R. Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). **Automation in Construction**, v. 16, p. 474-484, 2007.

OBERLENDER, G. D. **Project Management for Engineering and Construction**. 2. ed. McGraw-Hill Companies, Inc., 2000.

OLAWALE, Y.; SUN, M. PCIM: Project Control and Inhibiting-Factors Management Model. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 1, p. 60-70, 2013.

OLIVEIRA, K. A. Z. **Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Indicadores no Processo de Planejamento e Controle da Produção: Proposta baseada em estudo de caso**. 1999. 150 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

PIERROT-DESEILLIGNY, M.; DE LUCA, L.; REMONDINO, F. Automated Image-Based Procedures for Accurate Artifacts 3D Modeling and Orthoimage Generation. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 6, p. 291-299, 2011.

- PURI, A. **A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance**. Department of computer science and engineering, University of South Florida, 2005, Tampa.
- QU, T.; ZANG, W.; PENG, Z.; LIU, J.; LI, W.; ZHU, Y.; ZHANG, B.; WANG, Y. Construction Site Monitoring Using UAV Oblique Photogrammetry and BIM Technologies. In: International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 22., 2017, Hong Kong. **Proceedings...** Hong Kong: CAADRIA, 2017. p. 655-662.
- REMONDINO, F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. **Remote Sensing**, v. 3, p. 1104-1138, 2011.
- REMONDINO, F.; BARAZZETTI, L.; NEX, F.; SCAIONI, M.; SARAZZI, D. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling – Current Status and Future Perspectives. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. **Proceedings...** Zurich: ISPRS, 2011. p. 25-31.
- SALEHI, S. A.; YITMEN, I. Modeling and analysis of the impact of BIM-based field data capturing technologies on automated construction progress monitoring. **International Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 22, p. 1669-1685, 2018.
- SIEBERT, S; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, v.41, p. 1-14, 2014.
- SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A. J. Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de VANT Processados com os Softwares APS, Pix4D e PhotoScan. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014. p. 747-754.
- SON, H.; KIM, C.; CHO, Y. K. Automated Schedule Updates Using As-Built Data and a 4D Building Information Model. **Journal of Management Engineering**, v. 33, n. 4, 2017.
- SONG, S.; YANG, J.; KIM, N. Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction. **Computers in Industry**, v. 63, p. 895-912, 2012.
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357-375, 2009.
- TEIZER, J. Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 225-238, 2015.
- TEZEL, A.; AZIZ, Z. From conventional to IT based visual management: a conceptual Discussion for lean construction. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 22, p. 220-246, 2017.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T.; ALVES, T. Visual Management in Brazilian Construction Companies: Taxonomy and Guidelines for Implementation. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, 2015.

TIME-LAPSE. **Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus**.

Cambridge: Cambridge University Press, 2018. Disponível em:

<<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/time-lapse>>. Acesso em: jan. 2018.

TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Look-Ahead Planning: Screening and Pulling. In: International Seminar on Lean Construction, 2., 1997, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: A.S.I. Conte, Logical Systems, 1997.

TURKAN, Y.; BOSCHE, F.; HAAS, C. T.; HAAS, R. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. **Automation in Construction**, v. 22, p. 414-421, 2012.

TUTTAS, S.; BRAUN, A.; BORRMANN, A.; STILLA, U. Acquisition and Consecutive Registration of Photogrammetric Point Clouds for Construction Progress Monitoring Using a 4D BIM. **Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation**, v. 85, p. 3-15, 2017.

VAN AKEN, J. E., ROMME, G. Reinventing the future: adding design Science to the repertoire of organization and management studies. **Organization Management Journal**, v. 6, p. 5-12, 2009.

WAGGONER, D. B.; NEELY, A. D.; KENNERLEY, M. P. The forces that shape organizational performance measurement system: An interdisciplinary review. **International Journal of Production Economics**, v. 60, p. 53-60, 1999.

WANG, W.-C.; WENG, S.-W.; WANG, S.-H.; CHEN, C.-Y. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v.37, p. 68-80, 2014.

WITICOWSKI, L. C.; SCHEER, S. Utilização de modelagem BIM no processo de integração entre projeto e orçamentação. In: TIC 2011 – Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 5., 2011, Salvador. **Anais...** Salvador: FAUFBA, 2011. v.1. p.1-11.

WORD ECONOMIC FORUM. **Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology**. Industry agenda. Genova, 2016. 61 p.

YANG, J.; PARK, M.-W.; VELA, P. A.; GOLPARVAR-FARD, M. Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 211-224, 2015.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1: Checklist para programação da missão com VANT

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



### Checklist para Programação da Missão com o VANT

Dados Gerais da Missão	
Data	
Localização	
Objetivo geral da missão	
Horários previstos	
Equipe de trabalho envolvida	

Itens para preparação da Missão com VANT	Parâmetro observado/ definido	Comentários
<b>Etapa 1: Avaliação da localização da área a ser mapeada</b>		
a) Exigências definidas pela regulamentação (ANAC, 2017):		
1. Proximidade de aeroportos (raio mínimo permitido = 5 Km)		
2. Limite de altitude adotado (máximo permitido = 120 m)		
3. Proximidade de não anuentes (distância mínima permitida = 30 m)		
4. Outros requisitos levantados:		
b) Interferências físicas:		
1. Presença de linhas de energia e localização/ altura aproximada		
2. Presença de postes e localização/ altura aproximada		
3. Presença de árvores e localização aproximada		
4. Locais de fluxo de pedestres		
5. Locais de fluxo de veículos		
6. Outras possíveis interferências físicas observadas		



Itens para preparação da Missão com VANT	Parâmetro observado/ definido	Comentários
<b>Etapa 2: Avaliação das condições climáticas</b>		
a) Exposição à luminosidade e condições climáticas adversas:		
1. Posicionamento predominante do sol		
2. Possíveis barreiras geradoras de sombras		
3. Intensidade aproximada dos ventos		
4. Previsão de chuvas		
<b>Etapa 3: Avaliação da tipologia dos elementos mapeados</b>		
a) Definição dos planos de captura:		
1. Tipologia do elemento mapeado (vertical, horizontal ou ambos)		
2. Limite lateral da área recoberta		
3. Limite longitudinal da área recoberta		
b) Definição do modo de voo:		
1. Modo de voo escolhido (manual, automático, ou missões combinadas)		
c) Definição do modo de captura das imagens:		
1. Modo de captura escolhido (manual, automático, ou modos combinados)		
d) Definição do tipo de produto fotogramétrico a ser gerado:		
1. Produtos fotogramétricos gerados (modelo de nuvem de pontos, modelo 3D texturizado, ortofoto, ou mais de um tipo)		
<b>Etapa 4: Definição dos pontos de pouso e decolagem</b>		
a) Localização dos pontos:		
1. Localização do ponto de decolagem e pouso principal		
2. Localização do ponto de pouso alternativo (em caso de incidentes inesperados)		
3. Localização de novos pontos de decolagem e pouso		
b) Quantidade de pontos:		
1. Quantidade de baterias		
2. Autonomia média por bateria		
3. Número de pousos e decolagens previstos		





Itens para preparação da Missão com VANT	Parâmetro observado/ definido	Comentários
<b>Etapa 5: Definição dos parâmetros para captura de imagens</b>		
a) Sobreposição das imagens:		
1. Sobreposição lateral (% ou distância)		
2. Sobreposição longitudinal (% ou distância)		
b) Angulação da câmera:		
1. Modo de angulação (fixa ou variável)		
2. Angulação fixa definida		
3. Padrão de variação da angulação		
c) Distância do VANT ao elemento mapeado:		
1. Altitude fixa (elemento horizontal)		
2. Proximidade aproximada do elemento (elemento vertical)		
d) Velocidade de voo:		
1. Velocidade fixa ou variável		
2. Velocidade fixa definida		
3. Duração fixa de voo automático		
4. Estimativa de duração do voo manual		

**Informações Adicionais / Comentários (aspectos gerais da decolagem, trajetória de voo e local de pouso)**

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## APÊNDICE 2: Checklist para missão com VANT e cadastro de dados do voo (DJI Phantom)

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



### Checklist para Missão com o VANT DJI Phantom e Cadastro de Dados do Voo

Cadastro de Dados do Voo	Voo		
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
Data			
Localização			
Ponto de decolagem/pouso			
Condições climáticas			
Modalidade de voo (manual ou autônoma)			
Nome do piloto			
Observadores			
Objetivo do voo			
Horário de início			
Horário de término			

Itens do Checklist para Missão com VANT	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
<b>A) Checklist de Pré-voo</b>			
1. Ligar roteador (tablet ou celular)		<input type="checkbox"/>	
2. Ligar controle remoto		<input type="checkbox"/>	
3. Levantar antenas		<input type="checkbox"/>	
4. Conectar cabo USB		<input type="checkbox"/>	
5. Encaixar hélices		<input type="checkbox"/>	
6. Remover proteção da câmera		<input type="checkbox"/>	
7. Inserir bateria no VANT e ligar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Colocar o VANT em lugar aberto e seguro para a decolagem e para que ele possa retomar a localização se a função "return to home" for acionada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Ligar ou verificar aplicativo de controle (DJI go, Pix4D Capture, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Número de satélites			
11. Nível de bateria no início e fim do voo (%)			

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



Itens do Checklist para Missão com VANT	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
12. Para missão manual: verificar a indicação de "safe to fly" no aplicativo de controle (DJI go)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Para missão autônoma: programar parâmetros de voo e colocar controle no F	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Iniciar a missão (decolar)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### B) Checklist de pouso – Voo manual

1. Parar gravação de vídeo ou fotos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Retomar o VANT para pouso com cuidado (sempre manter sob linha de visada visual)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Pousar o VANT em local aberto e seguro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Desligar e remover bateria do VANT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### C) Checklist de pouso - Voo autônomo

1. Após o término do <i>grid</i> , acompanhar o retorno do VANT ao <i>Home Point</i> , assumindo o controle manual em caso de qualquer interferência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Retomar o controle manual do VANT para pouso - Colocar controle remoto na posição manual (posição P)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Pousar o VANT manualmente em local aberto e seguro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Desligar e remover bateria do VANT			

#### D) Checklist para Fim da Missão

1. Desligar controle remoto	<input type="checkbox"/>
2. Desligar roteador (tablet ou celular)	<input type="checkbox"/>
3. Remover cabo USB	<input type="checkbox"/>
4. Remover hélices do VANT	<input type="checkbox"/>
5. Colocar proteção da câmera	<input type="checkbox"/>
6. Guardar todos os equipamentos e acessórios na caixa	<input type="checkbox"/>

### APÊNDICE 3: Protocolo de entrevista – Roteiro para entendimento do sistema de gestão da produção (planejamento e controle)

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

#### Roteiro para Entendimento do Sistema de Gestão da Produção (Planejamento e Controle) - Entrevistas

Esse roteiro tem por objetivo guiar a coleta de informações e análise do sistema de e gestão da produção presente na obra (Planejamento e Controle da Produção), com foco na análise do progresso e avanço físico da obra executados pela construtora.

Data da entrevista: \_\_\_\_\_

#### Informações Gerais do Empreendimento

1.1. Nome da construtora: \_\_\_\_\_

1.2. Nome do empreendimento: \_\_\_\_\_

1.3. Localização: \_\_\_\_\_

1.4. Tipo do empreendimento: \_\_\_\_\_

1.5. Duração da construção: \_\_\_\_\_

1.6. Áreas do empreendimento (do terreno e área construída): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1.7. Principais sistemas construtivos: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1.8. Nome e cargo dos entrevistados: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Panorama Geral do Sistema de Planejamento e Controle da Produção

2.1. Quais tipos de planos (níveis de planejamento) são adotados e qual a janela de tempo considerada em cada um deles?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



**Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D**

**2.2. Em geral, qual a periodicidade de atualização e revisão de cada um dos planos e quem são os intervenientes envolvidos na elaboração/ revisão deles (envolvidos nas reuniões de planejamento)?**

---

---

---

**2.3. Como é acompanhado (medido e avaliado) o desenvolvimento das atividades (níveis e periodicidades do controle da produção)?**

---

---

---

**2.4. É utilizado algum sistema de indicadores de produção? Se sim, quais indicadores são medidos e qual as suas periodicidades? Sim ( ) Não ( )**

---

---

---

**2.5. Em geral, como ocorre a coleta de dados em campo para controle da produção? Há uma padronização nesta coleta (protocolos, planilhas e documentos seguidos)?**

---

---

---

**2.6. Quais são as principais ferramentas (tecnológicas ou não) utilizadas para planejamento e controle da produção?**

---

---

---

**2.7. Como se dá o compartilhamento das informações referentes ao planejamento e controle da produção entre as equipes e pessoas envolvidas? É utilizado algum dispositivo visual?**

---

---

---

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

### **Acompanhamento e Análise do Progresso da Obra**

3.1. Como é feito o acompanhamento e monitoramento do progresso da obra e qual a sua periodicidade? Há alguma sistemática definida?

---

---

---

---

3.2. Em caso de medição do avanço físico (levantamento do indicador), como é feito o cálculo e medição do mesmo?

---

---

---

3.3. Quais as principais dificuldades encontradas no processo atual de monitoramento e avaliação do progresso da obra?

---

---

---

---

3.4. O que ainda não possui, mas gostaria que fosse agregado ou alterado em relação aos processos de monitoramento e avaliação do progresso?

---

---

---

---

### **Informações adicionais / Comentários**

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE 4: Protocolo de entrevista – Versão completa do roteiro para avaliação do método proposto para monitoramento visual do progresso de obras

Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas  
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

### Roteiro para Avaliação do Método Proposto para Monitoramento Visual do Progresso – Modelo Completo

Esse roteiro tem por objetivo guiar as entrevistas para coleta de percepção de equipe da obra/construtora que participaram do processo de implementação do método proposto para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em modelos BIM 4D e mapeamentos 3D do canteiro com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), focado na sua integração ao processo de planejamento e controle. Esta análise de percepção será conduzida a partir de perguntas relacionadas aos seguintes critérios de avaliação: **Impacto na Identificação e Avaliação do Progresso, Transparência, Colaboração, Utilidade do Método e Facilidade de Adoção do Método.**

Data da entrevista: \_\_\_\_\_

#### Informações Gerais do Entrevistado

Nome da construtora: \_\_\_\_\_

Nome do empreendimento: \_\_\_\_\_

Nome do(a) entrevistado(a): \_\_\_\_\_

Cargo/função do(a) entrevistado(a): \_\_\_\_\_

Tempo de experiência no cargo/função: \_\_\_\_\_

Tempo de experiência na construção civil: \_\_\_\_\_

#### Impacto do Método na Identificação e Avaliação do Progresso da Obra

1.1. Indique, em sua opinião, o nível de impacto do método proposto na melhoria seguintes processos diretamente ligados ao monitoramento do progresso da obra.

Processos diretamente ligados ao monitoramento do progresso	Baixo	Médio	Alto
Identificação e análise de desvios de progresso do longo prazo			
Identificação e análise de desvios de progresso do médio prazo			
Identificação e avaliação das causas de desvios de progresso			
Planejamento de ações corretivas aos desvios negativos de progresso (tomada de decisão quanto aos desvios de progresso)			
Implementação e acompanhamento de ações corretivas aos desvios negativos			

1.2. De maneira geral, como o método proposto e uso dos produtos entregues contribuíram para a identificação, análise e mitigação dos desvios de progresso? Qual o impacto direto do método nessas atividades?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

### Contribuição do Método para a Transparência

2.1. Indique, em sua opinião, qual o nível de impacto dos seguintes produtos associados ao método para a melhoria da comunicação do status do progresso da obra.

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D (representação visual do progresso planejado)			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (representação visual do progresso real)			
Modelos sobrepostos (Nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores (comparação visual progresso planejado x progresso real)			
Dados dos indicadores (complemento às informações visuais)			
Mapeamento das causas de desvios negativos de progresso (complemento ao entendimento do progresso real)			

2.2. Indique, em sua opinião, qual o nível de simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas ao progresso da obra, observado nas atividades relacionadas ao método.

	Atividades gerais do método proposto associadas aos níveis de PCP	Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Atividades gerais de análise dos produtos visuais e indicadores do longo prazo, avaliação do desempenho da obra e tomada de decisão quanto ao progresso no longo prazo.			
Médio prazo	Atividades gerais de planejamento de médio prazo, análise dos produtos visuais, indicadores do médio prazo e causas de desvios de progresso, avaliação do desempenho da obra e tomada de decisão quanto ao progresso no médio prazo.			
Curto prazo	Atividades gerais de planejamento de curto prazo, análise do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e levantamento das causas de não cumprimento.			

2.3. A partir dos produtos visuais e indicadores associados ao método, foi possível identificar novas informações ou atributos relacionados ao progresso da obra que antes não eram observados ou eram pouco evidenciados? Se sim, exemplifique.

---



---



---



---



Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

### Contribuição do Método para a Colaboração

3.1. Indique, em sua opinião, qual o nível de impacto dos seguintes produtos associados ao método para a melhoria da troca e compartilhamento de informações associadas ao progresso da obra, entre os diferentes intervenientes ligados ao PCP.

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D (representação visual do progresso planejado)			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (representação visual do progresso real)			
Modelos sobrepostos (Nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores (comparação visual progresso planejado x progresso real)			
Dados dos indicadores (complemento às informações visuais)			
Mapeamento das causas de desvios negativos de progresso (complemento ao entendimento do progresso real)			

3.2. Indique, em sua opinião, qual o nível de envolvimento e interação entre os diferentes intervenientes ligados ao PCP, no desenvolvimento das atividades relacionadas ao método.

	Atividades gerais do método proposto associadas aos níveis de PCP	Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Atividades gerais de análise dos produtos visuais e indicadores do longo prazo, avaliação do desempenho da obra e tomada de decisão quanto ao progresso no longo prazo.			
Médio prazo	Atividades gerais de planejamento de médio prazo, análise dos produtos visuais, indicadores do médio prazo e causas de desvios de progresso, avaliação do desempenho da obra e tomada de decisão quanto ao progresso no médio prazo.			
Curto prazo	Atividades gerais de planejamento de curto prazo, análise do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e levantamento das causas de não cumprimento.			

3.3. Indique, em sua opinião, o impacto do método proposto na melhoria dos processos de análise compartilhada do progresso e tomada de decisão conjunta.

	Análise compartilhada do progresso e tomada de decisão conjunta associada aos níveis hierárquicos de PCP	Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Análise compartilhada do progresso acumulado das atividades e tomada de decisão conjunta, tendo como base as metas planejadas no longo prazo.			

Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

Médio prazo	Análise compartilhada do progresso mensal das atividades e tomada de decisão conjunta, tendo como base as metas planejadas no médio prazo			
Curto prazo	Análise compartilhada do cumprimento semanal dos pacotes de trabalho (progresso semanal das atividades) e tomada de decisão conjunta em relação ao planejamento de curto prazo.			

3.4. De maneira geral, como acredita que o método proposto e uso dos produtos entregues contribuíram para o aumento da colaboração nos processos relacionados ao PCP?

---



---



---

### Utilidade do Método Proposto

4.1. Indique, em sua opinião, qual o nível de importância das seguintes atividades relacionadas ao método, para o monitoramento efetivo do progresso da obra e tomada de decisão.

Atividades do método proposto que sofrem influência das informações de progresso, associadas aos níveis hierárquicos de PCP		Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no longo prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de longo prazo			
	Tomada de decisão relativa ao progresso da obra que implique em atualização do plano de longo prazo			
	Atualização do planejamento de longo prazo			
Médio prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no médio prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de médio prazo			
	Levantamento e análise das causas de desvio de progresso			
	Tomada de decisão relativa ao progresso mensal da obra (direcionamentos para o replanejamento mensal e implementação de ações corretivas)			
Curto prazo	Elaboração do planejamento de médio prazo (programação mensal)			
	Acompanhamento e análise semanal do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e medições diretas (progresso semanal)			
	Levantamento das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho			
	Elaboração do planejamento de curto prazo (programação semanal)			

Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

4.2. Indique, em sua opinião, qual o nível de adequação das seguintes atividades relacionadas ao método proposto, às necessidades do processo de monitoramento do progresso da obra (avaliação da maneira como as atividades foram desenvolvidas).

Atividades do método proposto que sofrem influência das informações de progresso, associadas aos níveis hierárquicos de PCP		Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no longo prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de longo prazo			
	Tomada de decisão relativa ao progresso da obra que implique em atualização do plano de longo prazo			
	Atualização do planejamento de longo prazo			
Médio prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no médio prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de médio prazo			
	Levantamento e análise das causas de desvio de progresso			
	Tomada de decisão relativa ao progresso mensal da obra (direcionamentos para o replanejamento mensal e implementação de ações corretivas)			
	Elaboração do planejamento de médio prazo (programação mensal)			
Curto prazo	Acompanhamento e análise semanal do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e medições diretas (progresso semanal)			
	Levantamento das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho			
	Elaboração do planejamento de curto prazo (programação semanal)			

4.3. Indique, em sua opinião, qual o nível de importância dos seguintes produtos associados ao método, para o monitoramento efetivo do progresso da obra e tomada de decisão.

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D e ortofoto)			
Modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores			
Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores e causas de desvios negativos de progresso			
Banco de dados dos indicadores			
Banco de dados das causas mensais de desvios negativos de progresso			



**Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D**

Planilha para auxílio ao planejamento e controle mensal das atividades (plano de médio prazo)			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle semanal dos pacotes de trabalho (plano de curto prazo)			

4.4. Indique, em sua opinião, qual o nível de adequação dos seguintes produtos associados ao método proposto, às necessidades do processo de monitoramento do progresso da obra (avaliação da forma de apresentação dos produtos).

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D e ortofoto)			
Modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores			
Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores e causas de desvios negativos de progresso			
Banco de dados dos indicadores			
Banco de dados das causas mensais de desvios negativos de progresso			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle mensal das atividades (plano de médio prazo)			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle semanal dos pacotes de trabalho (plano de curto prazo)			

4.5. Cite pelo menos 3 benefícios (pontos positivos) e dificuldades (pontos de melhoria) associados ao método proposto.

---



---



---



---



---

### **Facilidade de Adoção do Método Proposto e Integração ao Sistema de PCP**

5.1. Indique, em sua opinião, qual o nível de entendimento das seguintes atividades associadas ao método proposto.

Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

Atividades do método proposto que sofrem influência das informações de progresso, associadas aos níveis hierárquicos de PCP		Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no longo prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de longo prazo			
	Tomada de decisão relativa ao progresso da obra que implique em atualização do plano de longo prazo			
	Atualização do planejamento de longo prazo			
Médio prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no médio prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de médio prazo			
	Levantamento e análise das causas de desvio de progresso			
	Tomada de decisão relativa ao progresso mensal da obra (direcionamentos para o replanejamento mensal e implementação de ações corretivas)			
Curto prazo	Elaboração do planejamento de médio prazo (programação mensal)			
	Acompanhamento e análise semanal do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e medições diretas (progresso semanal)			
	Levantamento das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho			
Curto prazo	Elaboração do planejamento de curto prazo (programação semanal)			

5.2. Indique, em sua opinião, qual o nível de facilidade de aplicação das seguintes atividades associadas ao método proposto.

Atividades do método proposto que sofrem influência das informações de progresso, associadas aos níveis hierárquicos de PCP		Baixo	Médio	Alto
Longo prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no longo prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de longo prazo			
	Tomada de decisão relativa ao progresso da obra que implique em atualização do plano de longo prazo			
	Atualização do planejamento de longo prazo			
Médio prazo	Avaliação do desempenho geral da obra quanto ao progresso no médio prazo a partir dos produtos visuais e indicadores de médio prazo			
	Levantamento e análise das causas de desvio de progresso			
	Tomada de decisão relativa ao progresso mensal da obra (direcionamentos para o replanejamento mensal e implementação de ações corretivas)			
Curto prazo	Elaboração do planejamento de médio prazo (programação mensal)			
	Acompanhamento e análise semanal do cumprimento dos pacotes de trabalho com apoio visual e medições diretas (progresso semanal)			
	Levantamento das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho			
Curto prazo	Elaboração do planejamento de curto prazo (programação semanal)			

Estudo sobre monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e modelos BIM 4D

5.3. Indique, em sua opinião, qual seu o nível de entendimento dos seguintes produtos associados ao método proposto.

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D e ortofoto)			
Modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores			
Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores e causas de desvios negativos de progresso			
Banco de dados dos indicadores			
Banco de dados das causas mensais de desvios negativos de progresso			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle mensal das atividades (plano de médio prazo)			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle semanal dos pacotes de trabalho (plano de curto prazo)			

5.4. Indique, em sua opinião, qual o nível de facilidade de aplicação dos seguintes produtos associados ao método proposto.

Produtos associados ao método proposto	Baixo	Médio	Alto
Modelo BIM 4D			
Fotografias aéreas com o VANT e produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D e ortofoto)			
Modelos sobrepostos (nuvem de pontos e BIM 4D) com indicadores visuais de progresso por cores			
Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores e causas de desvios negativos de progresso			
Banco de dados dos indicadores			
Banco de dados das causas mensais de desvios negativos de progresso			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle mensal das atividades (plano de médio prazo)			
Planilha para auxílio ao planejamento e controle semanal dos pacotes de trabalho (plano de curto prazo)			







**APÊNDICE 6:** Modelo de planilha para apoio ao planejamento e controle de curto prazo (semanal) adaptada para a Obra A (Estudo de Caso 1)

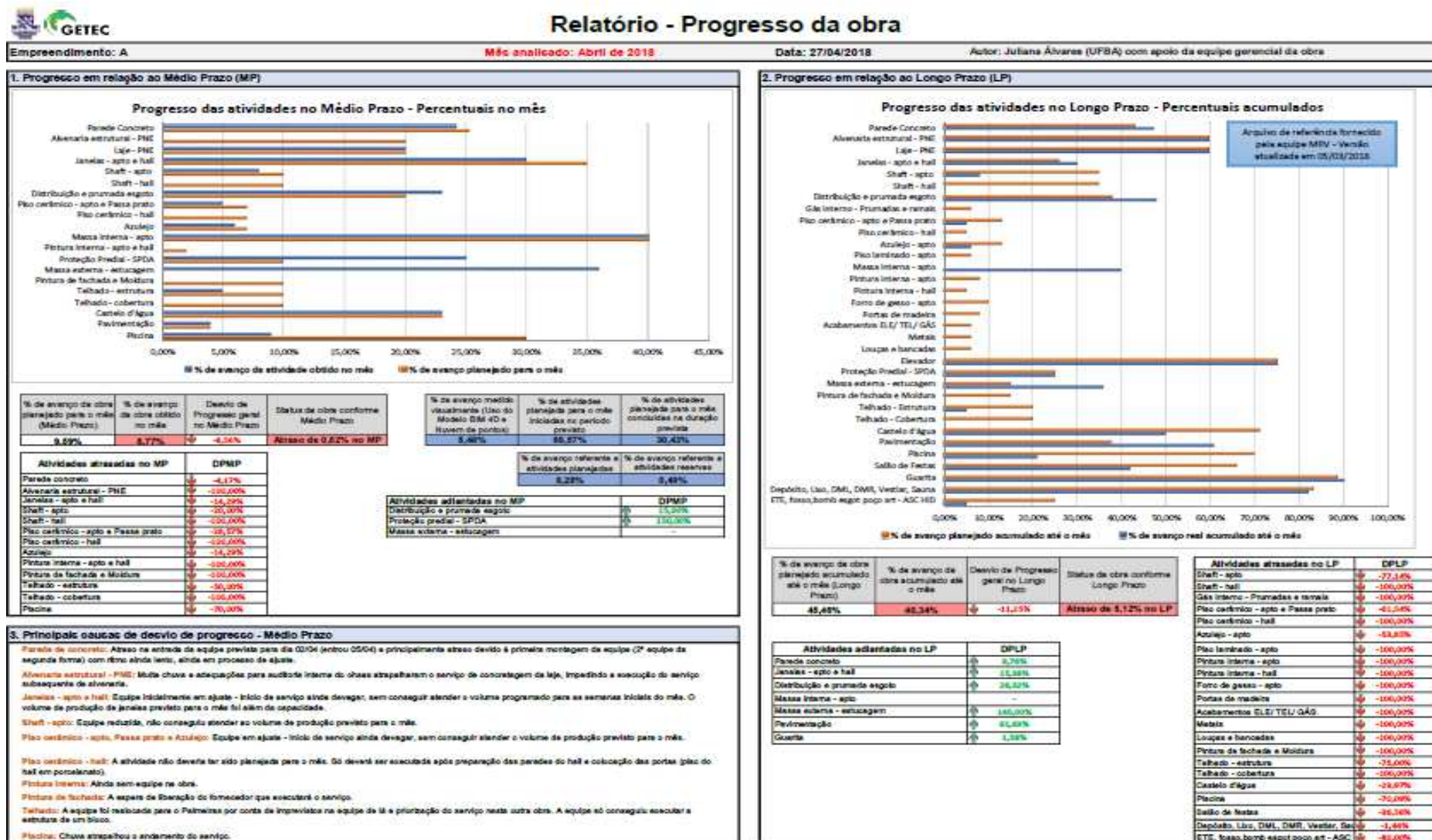
Legenda:	Planejamento	Planejamento de curto prazo - OBRA (Mês, ano - Semana 1)						
	Controle	Atividade	Referência do médio prazo e semanas anteriores para acompanhamento		Programação da semana			
Pacote de trabalho não cumprido			Nº de unidades e % programado no mês	número e % de unidades finalizadas nas semanas anteriores (acumulado)	Número de unidades a serem finalizadas e % da atividade programada para a semana	Equipe executora	Descrição dos pacotes de trabalho planejados na semana	Situação do pacote de trabalho ao final da semana (detalhar)
Ação corretiva								
Atividade não planejada								
Programada do mês finalizada								

Controle semanal			
% do pacote de trabalho executado	Causas do não cumprimento	Possíveis ações corretivas a curto prazo ou justificativas	Número de unidades finalizadas e % da atividade executada na semana

Nota: A planilha foi dividida em 2 seções apenas por motivos de visualização da imagem, mas a mesma é sequencial (único cabeçalho)

## APÊNDICE 7: Exemplo de relatório mensal de progresso usado no Estudo de Caso 1 – Referente ao 1º ciclo mensal de implementação do método na Obra A (abril de 2018)



**APÊNDICE 8:** Exemplo de relatório quinzenal de progresso usado no Estudo de Caso 2 – Referente ao final do 3º ciclo mensal de implementação do método na Obra B (fevereiro de 2019)

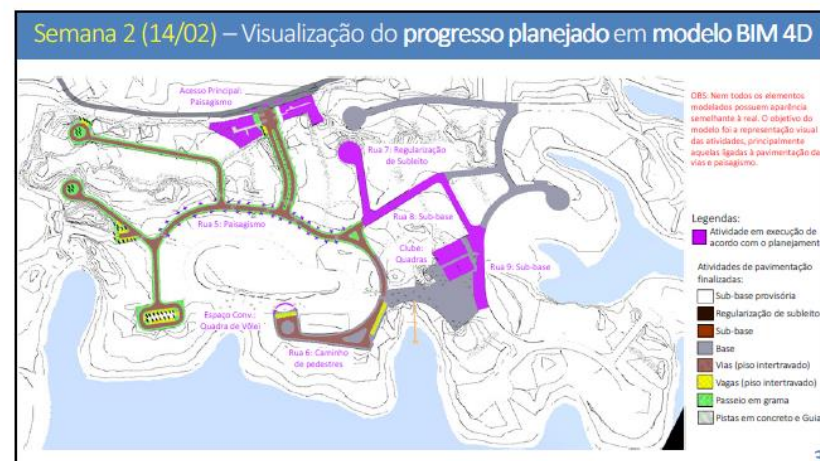
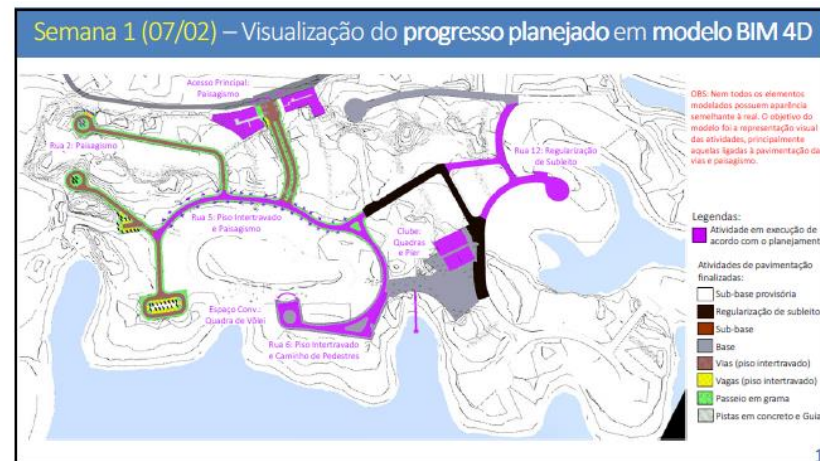


## Monitoramento Visual do Progresso da Obra B

Relatório visual de Fevereiro/2019

Foco: Atividades de pavimentação das vias e paisagismo

Projeto UFBA/ PPEC (Grupo GETEC) – Mestranda Juliana Álvares

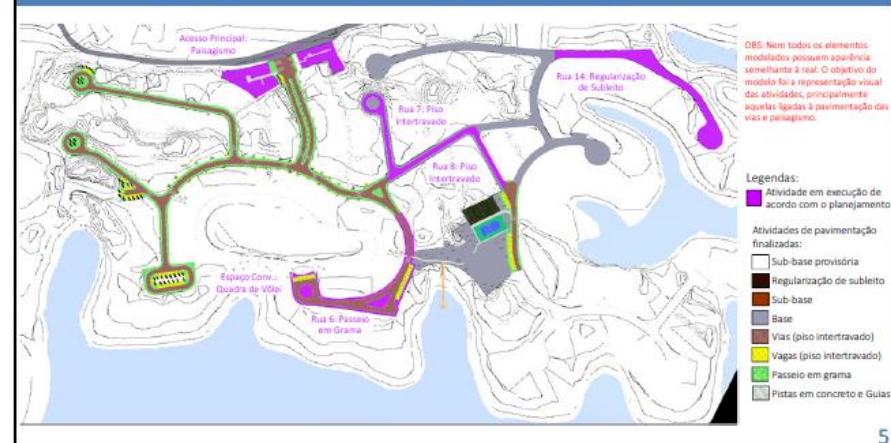


Semana 2 (14/02) – Visualização do progresso real em ortofoto por VANT



4

Semana 3 (21/02) – Visualização do progresso planejado em modelo BIM 4D



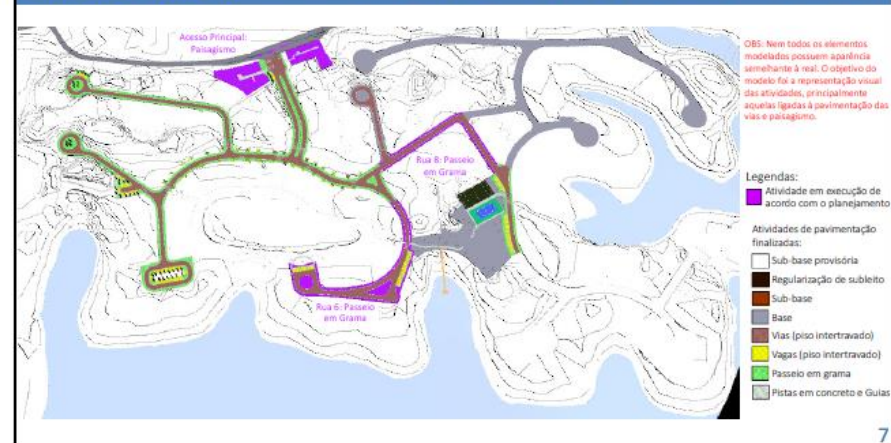
5

Semana 3 (21/02) – Visualização do progresso real em ortofoto por VANT



6

Semana 4 (26/02) – Visualização do progresso planejado em modelo BIM 4D



7

Semana 4 (26/02) – Visualização do progresso real em ortofoto por VANT



8

Progresso Planejado x Progresso Real

Vídeo dos modelos sobrepostos com indicadores de cores

OBS: Nem todos os elementos modelados possuem aparência semelhante à real. O objetivo do modelo foi a representação visual das atividades, principalmente aquelas ligadas à pavimentação das vias e paisagismo.

Legendas:

- Atividade em execução de acordo com o planejamento
- Atividade atrasada no mês
- Atividade adiantada no mês

Atividades de pavimentação finalizadas:

- Sub-base provisória
- Regularização de subleito
- Sub-base
- Base
- Vias (piso intertravado)
- Vagas (piso intertravado)
- Passeio em grama
- Pistas em concreto e Guias

9

Progresso Planejado x Progresso Real  
Imagem final dos modelos sobrepostos com indicadores de cores

OBS: Nem todos os elementos modelados possuem aparência semelhante à real. O objetivo do modelo foi a representação visual das atividades, principalmente aquelas ligadas à pavimentação das vias e paisagismo.

Legendas:

- Atividade em execução de acordo com o planejamento
- Atividade atrasada no mês
- Atividade adiantada no mês

Atividades de pavimentação finalizadas:

- Sub-base provisória
- Regularização de subleito
- Sub-base
- Base
- Vias (piso intertravado)
- Vagas (piso intertravado)
- Passeio em grama
- Pistas em concreto e Guias

10

Indicadores complementares à análise visual do progresso

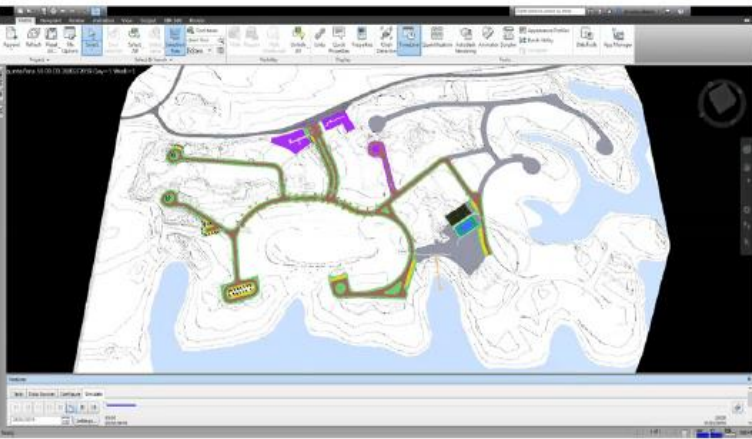
Mês	Avanço da obra no Médio Prazo (MP)						Avanço da obra no Longo Prazo (LP)			
	%AF planejado para o mês no MP	%AF da obra obtido no mês	Desvio de progresso no MP	% do AF do mês acompanhado visualmente*	% de atividades planejadas iniciadas no período previsto	% de atividades planejadas concluídas na duração prevista	% de atividades executadas não planejadas para o período	%AF planejado acumulado até o mês no LP	%AF acumulado até o mês	Desvio de progresso geral no LP
Dezembro/2018	13,56%	10,06%	-25,81%	69,46%	48,40%	28,80%	18,24%	63,00%	44,48%	-29,40%
Janeiro/2019	16,51%	14,84%	-10,12%	40,22%	66,53%	61,51%	25,35%	81,00%	59,20%	-26,91%
Fevereiro/2019	16,46%	14,69%	-10,92%	36,66%	62,41%	53,10%	36,49%	91,00%	73,72%	-18,99%

\*Referente às atividades possíveis de serem acompanhadas visualmente com apoio do mapeamento 3D do canteiro

11

## Progresso Planejado para Março/2019

### Vídeo da simulação 4D



OBS: Nem todos os elementos modelados possuem aparência semelhante à real. O objetivo do modelo foi a representação visual das atividades, principalmente aquelas ligadas à pavimentação das vias e passagens.

**Legendas:**

- Atividade iniciada em Fevereiro e em execução de acordo com o planejamento
- Atividade iniciada em Março e em execução de acordo com o planejamento

**Atividades de pavimentação finalizadas:**

- Sub-base provisória
- regularização de subleito
- Sub-base
- Baze
- Vias (piso intertravado)
- Vagas (piso intertravado)
- Passoio em grama
- Pistas em concreto e Guias

12

**APÊNDICE 9:** Caracterização completa dos ciclos de implementação do método proposto na Obra A (Estudo de Caso 1)

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
1º Ciclo mensal de implementação - Abril de 2018	Reunião para planejamento de médio prazo	29/03/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analista de Planejamento</li> <li>Analista de Controle</li> <li>Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observação participante</li> <li>Anotações da pesquisadora</li> <li>Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês (gerado em sequência à reunião)</li> </ul>
	Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	06/04/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observação participante</li> <li>Anotações da pesquisadora</li> <li>Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência à visita)</li> </ul>
		13/04/2018		
		24/04/2018		
		26/04/2018		
Reunião para controle da produção mensal com análise preliminar do modelo sobreposto	26/04/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analista de Planejamento</li> <li>Analista de Controle</li> <li>Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observação participante</li> <li>Anotações da pesquisadora</li> <li>Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>Modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos semanais) – Versão preliminar</li> </ul>	
Entrega do relatório de progresso mensal com os dados dos indicadores e versão final do modelo sobreposto com indicadores de cores	30/04/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analista de Planejamento</li> <li>Analista de Controle</li> <li>Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso</li> <li>Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>	
2º Ciclo mensal - Maio de 2018	Reunião para planejamento de médio prazo	26/04/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analista de Planejamento</li> <li>Analista de Controle</li> <li>Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observação participante</li> <li>Anotações da pesquisadora</li> <li>Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês (gerado em sequência à reunião)</li> </ul>

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
2º Ciclo mensal de implementação - Maio de 2018	Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	07/05/2018 11/05/2018 18/05/2018 25/05/2018 31/05/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Auxiliar de engenharia responsável pelos serviços de revestimentos e esquadrias</li> <li>• Auxiliar de engenharia responsável pelos serviços de instalações e área comum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência)</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso mensal com os dados finais dos indicadores e versão final do modelo sobreposto com indicadores de cores	04/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>
	Reunião para controle da produção mensal com análise dos indicadores e modelo sobreposto	06/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>
3º Ciclo mensal - Junho de 2018	Reunião para planejamento de médio prazo	06/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês (gerado em sequência à reunião)</li> </ul>
	Apresentação dos resultados à alta gerencia, referentes aos dois primeiros meses de implementação	07/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretor regional de Produção</li> <li>• Gestor das Obras regionais</li> <li>• Coordenador geral da obra</li> <li>• Coordenador de Planejamento e Controle</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Apresentação realizada</li> <li>• Relatório de andamento do estudo</li> </ul>



Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
3º Ciclo mensal de implementação - Junho de 2018	Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	07/06/2018 15/06/2018 21/06/2018 29/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT;</li> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência).</li> </ul>
	Reunião com setor de planejamento para análise mais precisa dos indicadores e causas de desvios de progresso	21/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Memoriais de cálculo dos indicadores</li> </ul>
	Reunião para controle da produção mensal com análise preliminar dos indicadores e modelo sobreposto	29/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Memorial de cálculo com indicadores preliminares</li> <li>• Modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos semanais) – Versão preliminar</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso mensal com os dados finais dos indicadores e versões finais dos modelos sobrepostos com indicadores de cores	04/07/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral da obra</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> <li>• Modelo 4D do longo prazo com sobreposição da última nuvem de pontos do mês e indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>
4º Ciclo mensal - Julho de 2018	Reunião para planejamento de médio prazo	29/06/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês (gerado em sequência à reunião)</li> </ul>

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
4º Ciclo mensal de implementação - Julho de 2018	Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	06/07/2018 12/07/2018 20/07/2018 26/07/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> <li>• Auxiliar de engenharia responsável pelos serviços de revestimentos e esquadrias</li> <li>• Estagiário de Engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT;</li> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência).</li> </ul>
	Reunião para controle da produção mensal com análise preliminar dos indicadores e modelo sobreposto	26/07/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Memorial de cálculo com indicadores preliminares</li> <li>• Modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos semanais) – Versão preliminar</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso mensal com os dados finais dos indicadores e versões finais dos modelos sobrepostos com indicadores de cores	09/08/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral da obra</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> <li>• Modelo 4D do longo prazo com sobreposição da última nuvem de pontos do mês e indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>
5º Ciclo mensal - Agosto de 2018	Reunião para planejamento de médio prazo	26/07/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Modelo BIM 4D do médio prazo com a programação do mês (gerado em sequência à reunião)</li> </ul>
	Reuniões semanais para planejamento e controle de curto prazo e voos com VANT em canteiro	10/08/2018 17/08/2018 23/08/2018 31/08/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> <li>• Auxiliar de engenharia responsável pelos serviços de revestimentos e esquadrias</li> <li>• Auxiliar de engenharia responsável pelos serviços de instalações e área comum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do curto prazo</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT;</li> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (gerados em sequência).</li> </ul>

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
5º Ciclo mensal de implementação - Agosto de 2018	Reunião para controle da produção mensal com análise preliminar dos indicadores e modelo sobreposto	31/08/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Analista de Produção</li> <li>• Estagiário de Engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Planilha para apoio à coleta de dados do médio prazo</li> <li>• Memorial de cálculo com indicadores preliminares</li> <li>• Modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos semanais) – Versão preliminar</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso mensal com os dados finais dos indicadores e versões finais dos modelos sobrepostos com indicadores de cores	12/09/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral da obra</li> <li>• Analista de Planejamento</li> <li>• Analista de Controle</li> <li>• Gerente da Obra (Eng. responsável)</li> <li>• Analista de Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorial de cálculo dos indicadores</li> <li>• Relatório mensal de progresso com dados dos indicadores compilados e causas de desvios de progresso</li> <li>• Versão final do modelo sobreposto do médio prazo (BIM 4D e nuvens de pontos), com indicadores de cores em simulação 4D</li> <li>• Modelo 4D do longo prazo com sobreposição da última nuvem de pontos do mês e indicadores de cores em simulação 4D</li> </ul>

**APÊNDICE 10:** Caracterização completa dos ciclos de implementação do método proposto na Obra B (Estudo de Caso 2)

<b>Ciclo</b>	<b>Atividades</b>	<b>Datas</b>	<b>Equipe gerencial da obra envolvida</b>	<b>Fontes de evidência</b>
<b>1º Ciclo mensal de implementação – Dezembro de 2018</b>	Voos semanais com VANT em canteiro para mapeamento 3D	06/12/2018 13/12/2018 18/12/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. responsável pelo setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>• Checklist para missão com VANT</li> </ul>
	Entrega do mapeamento 3D semanal para uso como apoio nas reuniões semanais de coordenação da produção	07/12/2018 14/12/2018 20/12/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Eng. do setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto)</li> <li>• Conjunto das principais imagens do canteiro selecionadas</li> </ul>
	Reunião com setor da produção para alinhamento das demandas semanais de informação do setor em relação ao estudo	13/12/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> <li>• Coordenador de produção e engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> </ul>
	Reunião com setor de planejamento para apresentação do modelo BIM 4D e alinhamento das entregas quinzenais	18/12/2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Modelo BIM 4D com a simulação da programação mensal da obra</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso com os dados dos indicadores, modelo sobreposto com indicadores de cores e simulação 4D do mês seguinte	02/01/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Eng. do setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatório quinzenal de progresso com imagens das ortofotos, imagens do modelo BIM 4D, dados dos indicadores e vídeos das simulações 4D</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês</li> <li>• Animação com a evolução visual das ortofotos do mês</li> <li>• Vídeo da simulação 4D dos modelos sobrepostos com desvios de progresso codificados com cores</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês seguinte</li> </ul>

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
<b>2º Ciclo mensal de implementação - Janeiro de 2019</b>	Participação da reunião de apresentação e acordo do planejamento mensal	04/01/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral de obras</li> <li>• Coordenador de produção e engenharia</li> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Eng. do setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> <li>• Eng. de qualidade e segurança</li> <li>• Equipe de encarregados da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Apresentação de planejamento realizada</li> </ul>
	Voos semanais com VANT em canteiro para mapeamento 3D	10/01/2019 17/01/2019 24/01/2019 31/01/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Estagiário de qualidade e segurança</li> <li>• Estagiário de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>• Checklist para missão com VANT</li> </ul>
	Entrega do mapeamento 3D semanal para uso como apoio nas reuniões semanais de coordenação da produção	11/01/2019 18/01/2019 25/01/2019 01/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Eng. do setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto)</li> <li>• Conjunto das principais imagens do canteiro selecionadas</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso com os dados dos indicadores, modelo sobreposto com indicadores de cores e simulação 4D do mês seguinte	21/01/2019 04/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Eng. do setor de engenharia</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatório quinzenal de progresso com imagens das ortofotos, imagens do modelo BIM 4D, dados dos indicadores e vídeos das simulações 4D</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês</li> <li>• Animação com a evolução visual das ortofotos do mês</li> <li>• Vídeo da simulação 4D dos modelos sobrepostos com desvios de progresso codificados com cores</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês seguinte</li> </ul>

Ciclo	Atividades	Datas	Equipe gerencial da obra envolvida	Fontes de evidência
<b>3º Ciclo mensal de implementação - Fevereiro de 2019</b>	Participação da reunião de apresentação e acordo do planejamento mensal	07/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador geral de obras</li> <li>• Coordenador de produção e engenharia</li> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> <li>• Estagiário de produção</li> <li>• Eng. de qualidade e segurança</li> <li>• Estagiário de qualidade e segurança</li> <li>• Equipe de encarregados da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Anotações da pesquisadora</li> <li>• Apresentação de planejamento realizada</li> </ul>
	Voos semanais com VANT em canteiro para mapeamento 3D	07/02/2019 14/02/2019 21/02/2019 26/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Estagiário de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> <li>• Imagens do canteiro registradas com o VANT</li> <li>• Checklist para missão com VANT</li> </ul>
	Entrega do mapeamento 3D semanal para uso como apoio nas reuniões semanais de coordenação da produção	08/02/2019 15/02/2019 22/02/2019 27/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos fotogramétricos do canteiro (modelo 3D texturizado e ortofoto)</li> <li>• Conjunto das principais imagens do canteiro selecionadas</li> </ul>
	Entrega do relatório de progresso com os dados dos indicadores, modelo sobreposto com indicadores de cores e simulação 4D do mês seguinte	18/02/2019 03/03/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng. de planejamento</li> <li>• Estagiário de planejamento</li> <li>• Estagiário de engenharia</li> <li>• Eng. gerente de produção da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatório quinzenal de progresso com imagens das ortofotos, imagens do modelo BIM 4D, dados dos indicadores e vídeos das simulações 4D</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês</li> <li>• Animação com a evolução visual das ortofotos do mês</li> <li>• Vídeo da simulação 4D dos modelos sobrepostos com desvios de progresso codificados com cores</li> <li>• Vídeo da simulação 4D com a programação do mês seguinte</li> </ul>