

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME DE OLIVEIRA DUTRA

**PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS NO
CANTEIRO DE OBRAS**

SANTA MARIA, RS

2022

Guilherme Oliveira Dutra

**PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS NO
CANTEIRO DE OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial
para obtenção do **grau de Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cattelan Antochaves de Lima

SANTA MARIA, RS

2022

Guilherme de Oliveira Dutra

**PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS NO
CANTEIRO DE OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial
para obtenção do **grau de Engenheiro Civil**.

Aprovado em 19 de agosto de 2022

Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Prof. Dr. (UFSM)

(Orientador)

Andre Lübeck, Prof. Dr. (UFSM)

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS

2022

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Getulio e Marizeti, por todos os ensinamentos, apoio e dedicação ao longo desta jornada, por me ensinar a importância do estudo e principalmente por todo o amor e carinho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, pelos momentos de descontração e por estarem sempre disponíveis para ajudar nos momentos de dificuldade.

Ao professor Rogério, por todos os ensinamentos ao longo da faculdade e por todo o auxílio prestado durante a elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria por me proporcionar experiências engrandecedoras que contribuíram para a construção de um cidadão melhor, assim como todos os seus servidores, que mesmo em tempos difíceis, sempre se dedicaram ao máximo para manter o alto nível da instituição.

“Algumas pessoas gostariam que algo acontecesse.
Algumas desejam que aconteça. E outras fazem
acontecer.”

Michael Jordan

RESUMO

PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS NO CANTEIRO DE OBRAS

AUTOR: Guilherme de Oliveira Dutra

ORIENTADOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

O cenário atual da construção civil apresenta um baixo grau de tecnologia e informatização quando comparado as demais industriais, fato que gera problemas no fluxo de informações e prejudica os índices de desempenho. Além da baixa industrialização do setor, nota-se limitações nas metodologias tradicionais usadas no planejamento e controle da produção devido à baixa consideração das variáveis existentes no canteiro e no processo manual de obtenção dos dados. Diante disso, o presente trabalho estuda o mapeamento por fotogrametria, o mapeamento por escaneamento a laser e o mapeamento por varredura 3D de baixa complexidade, como novas ferramentas para a elaboração de planejamentos e a realização do monitoramento das atividades, com a análise dos processos e equipamentos envolvidos na implementação, bem como os custos requeridos, além de analisar as variáveis presentes no canteiro de obras que podem impactar na escolha de determinada tecnologia. Ao final do estudo, pode-se constatar que as tecnologias analisadas, denominadas ferramentas digitais, apresentam potencial para solucionar as problemáticas citadas, tendo sua utilização na construção civil como inevitável ao longo dos próximos anos. Porém, pode-se observar que apenas escolher os dispositivos mais modernos e tecnológicos não garante os resultados esperados, uma vez que existem procedimentos prévios essenciais para permitir a construção de um ambiente que promova a boa utilização das informações obtidas. Assim, constatou-se que é necessário estabelecer processos que garantam a compatibilização entre as informações produzidas ao longo de todas as etapas de desenvolvimento de um empreendimento, bem como estruturar um bom planejamento para a realização do levantamento de dados. Ademais, pode-se observar a disponibilidade de equipamentos para utilização das ferramentas digitais com uma faixa de valores bem diversificada, fato que aumenta as possibilidades de adoção dessas tecnologias. Por fim, conclui-se que o sucesso das inovações apresentadas pelo presente estudo depende de processos bem estruturados e difundidos ao longo das etapas de desenvolvimento de projetos, planejamentos e monitoramento dos serviços, além de equipes motivadas e bem capacitadas.

Palavras-chave: Construção Civil. Planejamento e Controle da Produção. Mapeamento 3D. Processos.

ABSTRACT

PROCESSES AND EQUIPMENT NECESSARY FOR THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TOOLS FOR MONITORING SERVICES AT THE CONSTRUCTION SITE

AUTHOR: Guilherme de Oliveira Dutra

ADVISOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima

The current scenario of civil construction has a low degree of technology and computerization when compared to other industries, a fact that generates problems in the flow of information and impairs performance indices. In addition to the low industrialization of the sector, there are limitations in the traditional methodologies used in the planning and control of production due to the low consideration of the variables existing in the construction site and in the manual process of obtaining the data. Therefore, the present work studies the mapping by photogrammetry, the mapping by laser scanning and the mapping by 3D scan of low complexity, as new tools for the elaboration of plans and the accomplishment of the monitoring of the activities, with the analysis of the processes and equipment involved for implementation, as well as the required costs, in addition to analyzing the variables present at the construction site that can impact the choice of a certain technology. At the end of the study, it can be seen that the technologies analyzed, called digital tools, have the potential to solve the aforementioned problems, having their use in civil construction as inevitable over the next few years. However, it can be observed that just choosing the most modern and technological devices does not guarantee the expected results, since there are essential previous procedures to allow the construction of an environment that promotes the good use of the information obtained. Thus, it was found that it is necessary to establish processes that ensure compatibility between the information produced throughout all stages of development of an enterprise, as well as structure a good planning for carrying out the data collection. In addition, one can observe the availability of equipment for the use of digital tools with a very diverse range of values, a fact that increases the possibilities of adopting these technologies. Finally, it is concluded that the success of the innovations presented by the present study depends on well-structured and widespread processes throughout the stages of project development, planning and monitoring of services, in addition to motivated and well-trained teams.

Keywords: Construction. Production Planning and Control. 3D Mapping. Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elemento paramétrico com LOD 100.....	25
Figura 2 - Elemento paramétrico com LOD 300.....	26
Figura 3 - Elemento paramétrico com LOD 350.....	26
Figura 4 - Elemento paramétrico com LOD 400.....	27
Figura 5 - Modelagem BIM pelo software REVIT	32
Figura 6 - Exemplo de simulação 4D do planejamento no software NavisWorks.....	33
Figura 7 - Exemplo de modelo obtido após processamento de dados no software Agisoft Metashape.....	34
Figura 8 - Exemplo de modelo obtido após processamento de dados no software ReCap Pro	35
Figura 9 - Relação entre o formato de colaboração e o nível de informação da estrutura	36
Figura 10 - Modelo físico destinado ao acompanhamento das atividades	38
Figura 11 - Procedimento operacional padrão para definição parâmetros necessários para modelos BIM 4D	44
Figura 12 – Exemplo de sobreposição entre o modelo físico e o virtual para análise do status dos serviços em andamento	53
Figura 13 - Ilustração do drone DJI Mini 2	61
Figura 14 - Modelo digital obtido por meio de escaneamento a laser.....	69
Figura 15 - Modelo simplificado de planejamento para realização do escaneamento a laser....	73
Figura 16 - Representação do equipamento de escaneamento a laser modelo BLK 360.....	76
Figura 17 - Modelo digital obtido por meio de escaneamento a laser.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de veículos aéreos não tripulados (VANT's) compatíveis com mapeamento aéreo.....	54
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de Aquisição do Revit 2023	45
Tabela 2 - Valores de VANT's compatíveis com mapeamento aéreo	56
Tabela 3 - Custos de aquisição do software ReCap Pro	80
Tabela 4 -Custos de dispositivos móveis utilizados na fotogrametria de baixa complexidade	85

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
DECEA	Departamento Nacional de Controle Aéreo
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
LOD	<i>Level of Development</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
POP	Procedimento Operacional Padrão
TOF	<i>Time of Flight</i>
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
WFD	<i>Wave from Digitizer</i>

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 METODOLOGIA BIM	22
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS	28
2.3 SOFTWARES NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS GÊMEOS VIRTUAIS 31	
2.3.1 Softwares de modelagem de projetos	31
2.3.2 Softwares para elaboração de planejamento	32
2.3.3 Software para processamento de imagens	33
2.4 MODELO VIRTUAL DA CONSTRUÇÃO	35
2.5 MODELO FÍSICO DA CONSTRUÇÃO	37
3 METODOLOGIA	40
3.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA BIBLIOGRÁFICA	40
3.2 MATERIAIS ANALISADOS	41
4 ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DIGITAIS	43
4.1 ESTRUTURAÇÃO DO PLANEJAMENTO	43
4.2 FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DO PROGRESSO FÍSICO DA CONSTRUÇÃO	50
4.2.1 Mapeamento por Fotogrametria	51
4.2.1.1 Processos para implementação do mapeamento por fotogrametria	51
4.2.1.2 Equipamentos disponíveis para realização do monitoramento	54
4.2.1.3 Custos para aquisição dos equipamentos	55
4.2.1.4 Procedimentos necessários para a operação dos equipamentos	60
4.2.1.5 Software para processamento de imagens	64
4.2.1.6 Análise do processo	65
4.2.2 Mapeamento por Escaneamento a Laser	67
4.2.2.1 Processos para implementação do mapeamento por escaneamento a laser	72
4.2.2.2 Equipamentos disponíveis para a realização do monitoramento	75
4.2.2.3 Custos para aquisição dos equipamentos	75
4.2.2.4 Procedimentos necessários para a operação dos equipamentos	76
4.2.2.5 Software para processamento de imagens	79

4.2.2.6	Análise do processo.....	80
4.2.3	Mapeamento por varredura 3D de baixa complexidade	82
4.2.3.1	Processo para implementação do mapeamento de baixa complexidade	83
4.2.3.2	Equipamentos disponíveis para realização do monitoramento	84
4.2.3.3	Custos para aquisição dos equipamentos	85
4.2.3.4	Procedimentos necessários para operação dos equipamentos	85
4.2.3.5	Software para processamento de imagens.....	86
4.2.3.6	Análise dos processos.....	86
5	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual da construção civil é pautado, em sua grande maioria, por uma gestão da informação ineficiente referente aos serviços a serem executados em cada etapa. Lázaro (2010) apresenta que uma das causas desta problemática é a baixa utilização de tecnologias da informação e comunicação. Segundo Lázaro (2010), a utilização de ferramentas destinadas a melhoria da gestão da informação ajuda a elevar a qualidade dos projetos e diminuir a necessidade de alterações e correções de erros por meio da redução de incompatibilidades entre os entregáveis produzidos por diferentes membros da equipe.

Uma das principais causas da baixa eficiência da gestão da informação é a dificuldade de gerar informações de fácil compreensão a todos os integrantes do processo. A origem do problema tem início na etapa de planejamento devido à elaboração de planos imprecisos e pouco visuais.

Os métodos tradicionais, embora amplamente consolidados, por não considerarem variáveis extremamente importantes durante a definição do planejamento, como por exemplo, a disponibilidade de recursos e a atribuição de folgas entre as etapas, apresentam graus de incerteza altos, tendo por consequência maior probabilidade de erros. Logo, tais metodologias apresentam limitações que reduzem os resultados obtidos.

O impacto negativo gerado pela baixa qualidade na transmissão das informações e por planejamentos equivocados agrava outros problemas do setor, como por exemplo, a baixa qualificação da mão de obra e os conflitos espaciais e temporais entre atividades distintas.

Devido a estes pontos, há maior probabilidade de ocorrer serviços com qualidade insuficiente, retrabalhos e desperdícios de materiais, fatos que impactam os índices de produtividade e levam a atrasos no cronograma e estouros no orçamento. Souza (2006) apresenta como principais causas que impactam na produtividade, o caráter nômade do canteiro de obras, a absorção de mão de obra desqualificada e a rotatividade dos trabalhadores.

Entretanto, Souza (2006) também afirma que não se deve atribuir a responsabilidade da baixa produtividade apenas aos operários, já que outros fatores como qualidade de organização do trabalho, nível de pré-fabricação e mecanização do projeto que está sendo executado também interferem na maior ou menor produtividade. Zacko e Antunes (2019)

também relatam que é necessário analisar o efeito em conjunto desses fatores no desempenho da mão de obra, citando como exemplo, a forte intercomunicação entre a estruturação das equipes e o retrabalho.

Neto e Maracajá (2018) apresentam que uma gestão eficiente é necessária para não ocorrerem perdas de qualidade e produtividade, o que reforça a necessidade de dados consistentes e representativos da realidade da construção, assim como ferramentas para comunicação dos planos de forma efetiva.

Diante disso, fica nítido a necessidade de elevar a qualidade e precisão do processo de planejamento e controle da produção (PCP) a fim de construir métodos para obter os insumos necessários para construção do planejamento, realizar a análise ampla das variáveis existentes nos processos construtivos e construir planejamentos mais adequados a realidade. Ao obter planejamento mais claros, a transmissão das informações referentes execução dos serviços é facilitada, resultando em maior qualidade final com prazo e custos dentro das metas estabelecidas.

Gayer (2016) apresenta que a obtenção de eficiência nos processos, por meio ações de melhoria da gestão do conhecimento e inovação, como prototipagens virtuais e adoção da metodologia BIM como suporte para elaboração de planejamentos, é essencial para propiciar diferencial competitivo as empresas.

Porém, o processo de melhoria do PCP também deve englobar o alinhamento com as atividades de acompanhamento dos serviços em execução, já que a construção de planos sólidos e a divulgação efetiva de tais, embora de grande valia como passo inicial para o sucesso da construção, tende a perder força se não ocorrerem atualizações constantes do planejamento de forma a permitir a realização de análises e ajustes nos planos.

A atualização do planejamento ocorre por meio do monitoramento do avanço físico da obra devido a conclusão dos serviços presentes em cada etapa. Neto e Maracajá (2018) apontam que é necessário adotar cuidados durante as medições dos procedimentos, com identificação das motivações dos desvios de desempenho a fim de realizar correções nas causas dos problemas e tornar possível o aumento da produtividade e da qualidade do setor.

Entretanto, atualmente a etapa de controle da produção no PCP é extremamente operacional e manual, o que requer um grande tempo da equipe responsável, pode gerar erros

na coleta de dados e dificultar a realização de análises mais específicas referente a origem dos desvios identificados.

Logo, para superar as limitações de planejamentos elaborados por metodologias tradicionais, bem como aquelas apresentadas por procedimentos manuais de monitoramento dos serviços, é necessário buscar novas metodologias e tecnologias que supram as carências anteriormente citadas.

A utilização de novas metodologias de planejamento em conjunto com metodologia BIM (*Building Information Modeling*) tem apresentado grande potencial para o aprimoramento dos processos do PCP. Dentre as alternativas, pode-se destacar o planejamento baseado em zonas de trabalho com auxílio da metodologia BIM, apresentado por Vargas (2018), que apresentou ótimos resultados em termos de identificação de falhas no planejamento e elaboração de melhores alternativas.

Já em relação aos procedimentos de monitoramento dos serviços executados, há a possibilidade de empregar novas tecnologias com o intuito de automatizar os processos de coleta de dados e aumentar a qualidade dos resultados obtidos. Para compreender como isso ocorre, o presente trabalho irá estudar ferramentas com potencial de aplicação para o monitoramento do avanço físico da construção e representação visual dos dados em um modelo tridimensional, além de avaliar a integração dessas com as rotinas gerenciais da empresa.

Para integrar planejamento e monitoramento, facilitando o processo de análise, pode-se buscar por tecnologias que permitam construir os modelos necessários para implementar os gêmeos virtuais, representações tanto do modelo virtual da construção, elaborado pelos projetos desenvolvidos, quanto do modelo físico, o qual representa o que foi executado de fato dentro de determinado período.

Segundo Grieves (2003 apud GARCIA; GABALDE; BORGES; BRUZA; SANTOS; CORREA, 2022), os gêmeos virtuais podem ser definidos como componentes físicos e sistemas presentes em um espaço físico, uma representação correspondente no espaço virtual e um fluxo de informações entre esses espaços.

Garcia, Borges, Bruza, Santos e Correa (2022), afirmam que a criação de um gêmeo virtual requer um modelo digital que contenha informações do elemento real construído e a associação de dados relativos ao que se pretende monitorar. Os autores ainda relatam que a

principal dificuldade para a implementação é a complexidade do tratamento dos dados e a associação desses com os elementos dos modelos.

Logo, o presente estudo, ao analisar as características tanto das ferramentas para acompanhamento de execução de serviços, quanto as destinadas à criação de modelos virtuais, possibilitará compreender os processos, equipamentos e recursos necessários para a implementação dessas e a consolidação dos gêmeos virtuais, o que levará à obtenção de melhorias no processo de gestão. Além disso, servirá de base para a escolha da ferramenta que melhor se adapta a realidade de cada empreendimento, além de possibilitar identificar quais são os benefícios e empecilhos esperados para cada escolha.

Para aprimorar análise, o presente trabalho irá contar com uma pesquisa bibliográfica sobre os conceitos relevantes para o entendimento do PCP, análises sobre os processos de implementação de cada ferramenta analisada e um comparativo entre os impactos proporcionados por cada tecnologia estudada no ambiente da construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

A conjuntura atual da construção civil é marcada por intenso uso mão de obra com baixa qualificação e processos pouco automatizados, fatores que acarretam em elevados índices de retrabalho e desperdícios. Aliado a isso, os processos de controle e acompanhamento atuais apresentam baixo grau tecnologia empregada, tanto nas fases iniciais de planejamento, como nas medições dos avanços físicos das atividades e inspeções para aprovação de serviços.

Os problemas presentes nos processos citados fazem com que diversas variáveis que impactam no fluxo das atividades, como por exemplo restrições físicas no espaço de trabalho, não sejam consideradas de forma adequada. Vargas (2018), apresenta que isso causa dificuldade de controlar a qualidade dos serviços prestados pelas diversas equipes atuantes e tende a gerar uma gestão da informação confusa e ineficiente.

As características apresentadas acima dificultam a melhoria da gestão da qualidade, fato que tendem a trazer dificuldades frente a cada vez maior concorrência do mercado. Segundo Botelho (2018), clientes cada vez mais exigentes estão demandando maior velocidade

de execução sem a perda de qualidade e aumento excessivo do valor, o que inevitavelmente requer a melhoria dos processos e adoção de práticas mais eficientes.

Assim, fica claro que é essencial buscar novas alternativas que proporcionem melhorias nas etapas de planejamento e acompanhamento dos serviços executados. Além disso, por se tratar de duas áreas que ocorrem de forma cíclica e com constante troca de informações, é necessário que ambas evoluam simultaneamente.

Para a etapa de planejamento, a implementação de novas metodologias permite elevar a qualidade das estratégias elaboradas. Isso pode ser observado no estudo de Vargas (2018), que por meio da utilização do planejamento baseado em zonas de trabalho com apoio na metodologia BIM, possibilitou reduzir as incertezas e variabilidade do fluxo de atividades, identificar e eliminar interferências e alcançar maior eficiência na gestão da informação por meio.

Almori et al (2016 apud OLIVEIRA; SANTOS; LIMA, 2020) apresentam que visualizar todas as etapas de construção com o maior grau de detalhamento possível, a fim de aprimorar as tomadas de decisão, é cada vez mais uma demanda inevitável do setor da construção civil.

Já para os procedimentos de acompanhamento e controle da produção, que ainda são extremamente manuais e demandam um grande trabalho operacional, é imprescindível a realização de estudos sobre novas tecnologias e ferramentas que permitam automatizar a coleta de insumos sobre o progresso das atividades, construir uma base de dados sólida e possibilitar integração automatizada com as informações da fase de planejamento. Assim, a obtenção de tais dados deixa de ser um gargalo no processo

Por meio de aplicações de melhorias nas duas áreas, são gerados benefícios ao setor da engenharia, como por exemplo, destinar mais tempo na análise e tomada de decisões do que a atividades de coleta de insumos.

Portanto, é fundamental o estudo sobre as novas tecnologias digitais destinadas ao monitoramento do progresso das atividades presentes no mercado, os procedimentos requeridos para sua implementação e recursos necessários. Além disso, uma análise sobre os processos demandados para compatibilizar a etapa de planejamento e monitoramento, bem como possibilitar a integração com novas metodologias, como o BIM, é essencial para

permitir a integração efetiva das novas formas de monitoramento dos serviços dentro das rotinas de gestão das organizações.

Com este objetivo, o presente trabalho irá analisar novas tecnologias como mapeamento por fotogrametria, varredura eletrônica por escaneamento a laser e mapeamento 3D de baixa complexidade, as quais tem por objetivo auxiliar na coleta de dados em tempo real e a posterior transposição desses para a construção de um modelo computadorizado representativo da construção. Assim, será possível entender os procedimentos e recursos necessários para obter a representação fidedigna do estágio atual da construção, a qual pode ser definida como modelo físico da obra.

O modelo físico será utilizado no acompanhamento e análise do planejamento estabelecido previamente com uso em conjunto com modelos virtuais elaborados pela metodologia BIM, que representam todos os elementos da construção, gerando os gêmeos virtuais.

Por meio da utilização dos gêmeos virtuais, será possível verificar o andamento da obra de forma dinâmica e visual, identificar pontos de desvio de planejamento ou de qualidade esperada e aplicar correções nos planos em um período adequado, possibilitando elevar o desempenho das equipes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por finalidade identificar os principais benefícios de novas tecnologias e ferramentas destinadas ao monitoramento do progresso das atividades do canteiro de obras de forma integrada e automatizada, com a construção dos “gêmeos virtuais”, bem como os procedimentos necessários para a implementação adequada dessas tecnologias.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetos específicos tem-se:

- Apresentar bibliografia referente aos conceitos da modelagem em BIM, metodologia de planejamento e características técnicas dos softwares, equipamentos e tecnologias abordados no estudo;
- Explicitar os processos necessários para a implementação das ferramentas digitais para controle do avanço físico da obra, bem como para integração com o processo de planejamento e controle da produção;
- Analisar os custos de implantação e operação das ferramentas analisadas;
- Comparar os diferenciais e as limitações das ferramentas digitais apresentadas, com o intuito de nortear a escolha do equipamento adequado para os objetivos desejados, considerando o porte de investimento disponível;
- Analisar o impacto geral da implementação do planejamento e controle da produção (PCP) por meio de modelos denominados “gêmeos virtuais” na construção civil, como os potenciais ganhos, pontos fortes, fracos, oportunidades dentro do contexto atual do setor e as ameaças para uma implementação efetiva e bom desempenho das tecnologias e ferramentas analisadas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta sua estrutura em cinco capítulos principais, os quais são apresentados a seguir.

O primeiro capítulo é formado pela introdução, na qual é apresentado um breve contexto sobre as características dos processos atuais de acompanhamento e controle das atividades da construção civil e as razões que validam a necessidade de um estudo sobre o tema abordado, bem como pelo objetivo geral pretendido pelo trabalho e detalhamento de objetivos específicos. Além disso, é detalhada a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo é constituído por uma revisão bibliográfica com o intuito de fundamentar conceitos relevantes para a compressão do tema e construir uma base para implementação correta das tecnologias. Assim, estarão presentes conceitos da metodologia BIM, níveis de desenvolvimento do projeto (LOD's), definições sobre metodologias de planejamento e informações sobre as novas ferramentas digitais para monitoramento do avanço físico das construções e os respectivos softwares requeridos para o processo.

O terceiro capítulo descreve a metodologia empregada no trabalho, com a explicação das ferramentas adotadas.

O quarto capítulo é referente ao estudo aprofundado sobre os processos de implementação de novas tecnologias na rotina de gestão, características específicas das ferramentas analisadas, softwares requeridos para obtenção e análise dos dados relativos ao progresso das atividades de execução, vantagens e desvantagens de cada tecnologia, custos de implementação e empecilhos que podem atrapalhar o resultado final do processo.

O último capítulo é destinado a conclusão do estudo, a qual tem por finalidade analisar as informações referentes aos investimentos monetários, temporais e intelectuais demandados para cada tecnologia estudada e os respectivos ganhos em potencial, a fim de obter-se um bom direcionamento sobre a viabilidade de aplicação das ferramentas, bem como identificar se alguma apresenta maior probabilidade de sucesso ou se cada uma apresenta um nicho de aplicação distinto. Além disso, busca-se compreender como a inclusão de novas ferramentas e seus respectivos processos de operação impactam nas fases do planejamento e controle da produção (PCP) e quais são os principais aspectos e processos que devem ser incorporados na rotina de gerenciamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METODOLOGIA BIM

É notável o aumento da complexidade dos novos empreendimentos, fato que torna mais árdua a tarefa de representar todas as características construtivas nos diversos projetos que compõem o ciclo de concepção de uma obra (projeto arquitetônico, estrutural, elétrico, hidrossanitário, e demais complementares que se fizerem necessários), bem como identificar relações de interferências e incompatibilidades entre esses.

Assim, a tradicional representação dos projetos em duas dimensões (2D) mostra-se cada vez mais ineficiente, uma vez que não permite a disseminação efetiva de informações referentes a detalhes construtivos e ao sequenciamento dos serviços relacionadas a cada elemento do projeto. Isso gera incertezas no processo de planejamento, problemas na fase de execução e custos não previstos devido a necessidades de alterações nos projetos após iniciada a construção propriamente dita.

Frente a isso, a metodologia BIM (Building Modeling Information), definida Eastman et al. (2011 apud VARGAS, 2018) como uma metodologia de modelagem alinhada a um conjunto de processos que permitem desenvolver, transmitir e analisar modelos da construção, vem ganhando grande destaque por possibilitar a resolução das problemáticas citadas anteriormente, já que possui uma modelagem tridimensional com a construção de objetos paramétricos contendo informações físicas dos elementos do projeto. Eastman et al. (2011 apud BIGNOTO, 2019) definem objetos paramétricos como elementos que possuem regras e parâmetros que caracterizam a sua geometria e propriedades, além de permitir atualizações automáticas.

Crespo e Ruchel (2007 apud BIGNOTO, 2019) apresentam que o uso da metodologia BIM possibilita gerar e compartilhar um único modelo digital integrado, o qual fornecerá suporte para todos os aspectos ao longo do ciclo de vida útil da construção. Por meio disso, é possível reduzir incertezas ao longo do processo e construir planejamentos mais sólidos.

Isso gera uma maior facilidade de identificar problemas de incompatibilidade nos projetos, estruturar o sequenciamento das atividades considerando as características dos elementos a serem construídos e as restrições de espaço e comunicar as informações relevantes a execução do projeto para as partes interessadas.

Como o presente trabalho tem por objetivo analisar os resultados da aplicação de novas tecnologias para o acompanhamento e controle de obras, com a construção de modelos físicos representativos dos estágios da construção e comparação com o estipulado em cada período do planejamento realizado via modelo virtuais 3D, é necessário trazer os conceitos fundamentais para a utilização adequada da metodologia BIM na elaboração de projetos e posterior uso das informações contidas nesses na estruturação de planejamentos, como por exemplo, nível de desenvolvimento do projeto (LOD), dimensões BIM e interoperabilidade.

Conforme abordado anteriormente, a metodologia BIM não se resume a modelagem tridimensional, e sim a atribuição de informações físicas parametrizadas aos objetos da construção. Conforme apresentando pela Autodesk (2022), a modelagem em BIM constitui um processo de criação e gerenciamento de informações que relaciona dados de diversas disciplinas de projetos de forma gerar uma representação digital do objeto construído englobando as fases de planejamento, projeto, construção e operação. As informações possibilitam a extração de quantitativos dos elementos de cada etapa do projeto, as quais servirão para a elaboração assertiva de orçamentos e planejamentos, assim como para a realização de acompanhamento e controle da execução eficiente.

A elaboração tanto de orçamentos, quanto planejamentos em BIM ocorre por meio de adições de mais dimensões as três dimensões espaciais presentes nos projetos, na qual o planejamento é representado pelo BIM 4D e orçamento por meio do BIM 5D. Segundo Souza (2020), o BIM 4D representa uma modelagem a respeito do cronograma da obra, acrescentando a variável tempo às dimensões geométricas do modelo. Já o BIM 5D, segundo Aderle (2017), constitui-se de uma modelagem em 5 dimensões, na qual 3 dimensões são relativas aos projetos, e as outras duas são o tempo, presente também no BIM 4D e a dimensão referente aos custos dos materiais atribuídos elementos paramétricos.

Com base nas informações relativas à metodologia BIM e as dimensões presentes na modelagem, pode-se compreender que há uma vasta gama de informações passíveis de serem integradas aos modelos, bem como uma ampla possibilidade de detalhamento desses.

Logo, para uso adequado da metodologia, é necessário definir alguns conceitos fundamentais como, nível de desenvolvimento (LOD) e interoperabilidade.

Inicialmente, é importante diferenciar nível de desenvolvimento (LOD) de nível de detalhe. Segundo o BIM Fórum (2019), nível de detalhe está relacionado a quantidade de detalhes inclusa no elemento de modelo, já nível de desenvolvimento é o grau de precisão da

geometria dos elementos e das informações anexadas, representado o quanto os membros da equipe de projeto podem confiar em tais informações durante a utilização do modelo.

Portanto, o nível de desenvolvimento (LOD) está relacionado à quantidade de informações adequadas em cada componente do projeto de acordo com as demandas requeridas para determinada etapa de concepção e execução do empreendimento.

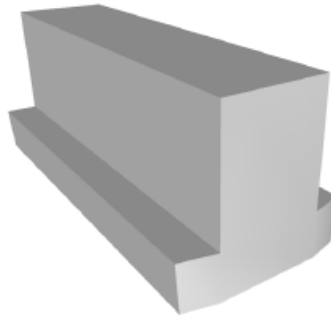
Segundo o BIM Forum (2019), existem os seguintes níveis:

- LOD 100: Os elementos são representados por meio de símbolos ou quaisquer outras formas de representação genérica que não são representações geométricas, não se enquadrando nos requisitos do LOD 200. As representações indicam a existência do componente, porém não a sua forma, tamanho ou localização exata. As informações derivadas de tais elementos são aproximadas. Ex.: custos anexados a um elemento.
- LOD 200: Os elementos apresentam quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximadas. Eles são representados graficamente por meio de sistemas genéricos, objetos ou montagem, com a possibilidade de acrescentar aos elementos informações não gráficas. Destaca-se que tais elementos são reconhecidos como os componentes que representam ou até mesmo volumes destinados a reserva de um espaço. Além disso, deve-se considerar qualquer informação oriunda destes elementos como aproximada. Ex.: luminárias com tamanho, forma, localização genéricas e aproximadas.
- LOD 300: Os elementos são representados por meio de um sistema, objeto ou conjunto específico com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação, podendo estar inclusas informações não gráficas. Tais informações podem ser medidas diretamente do modelo sem a necessidade de informações não modeladas (notas ou chamadas de dimensão). Destaca-se que os elementos apresentam precisão na sua localização em referência a origem do projeto. Ex.: elementos com informações específicas.
- LOD 350: Os elementos do modelo apresentam as mesmas características presentes no LOD 300 (quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e acréscimo de informações não gráficas) acrescido de interfaces com outros sistemas de construção. Para a realização dessa coordenação entre os sistemas, é necessário a modelagem das peças de suporte e conexões. Assim como no LOD 300, os elementos projetados podem ser medidos sem a consulta de informações não modeladas. Ex.: modelos reais.

- LOD 400: Os elementos do modelo apresentam as mesmas características presentes no LOD 300 (quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e acréscimo de informações não gráficas) acrescido de informações referentes ao seu detalhamento, fabricação, montagem e instalação. Para se enquadrar no LOD 400, o elemento precisa possuir detalhamento e precisão que permitam sua fabricação. Ex.: elementos com detalhamentos especiais referentes a sua montagem.
- LOD 500: O elemento deste LOD é uma reprodução de um objeto aferido em campo com base no tamanho, forma, quantidade e orientação. Entretanto, por estar relacionado a uma verificação e não a um indicativo de progressão do nível de detalhamento da geometria do elemento, a especificação não é utilizada para definir um objeto.

A figura 1 apresenta um elemento modelado com nível de desenvolvimento (LOD) de 200.

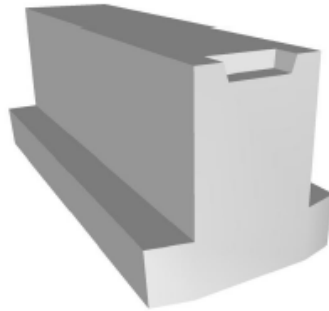
Figura 1 - Elemento paramétrico com LOD 100



Fonte: BIM Forum (2020)

A figura 2 apresenta um elemento modelado com nível de desenvolvimento (LOD) de 300.

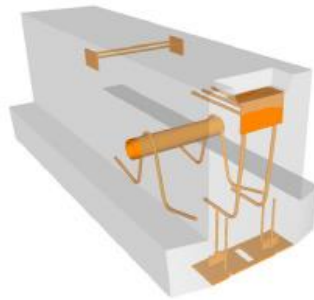
Figura 2 - Elemento paramétrico com LOD 300



Fonte: BIM Forum (2020)

A figura 3 apresenta um elemento modelado com nível de desenvolvimento (LOD) de 350.

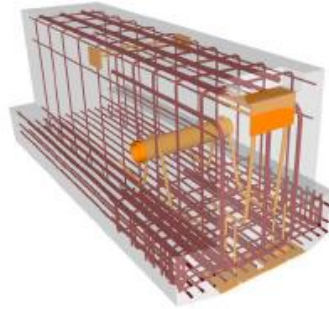
Figura 3 - Elemento paramétrico com LOD 350



Fonte: BIM Forum (2020)

A figura 4 apresenta um elemento modelado com nível de desenvolvimento (LOD) de 400.

Figura 4 - Elemento paramétrico com LOD 400



Fonte: BIM Forum (2020)

Com base nessa classificação e nas informações necessárias para a elaboração de cada etapa do planejamento, são definidos os parâmetros necessários para os elementos e realizada sua categorização dentro dos LODs. Assim, a modelagem será construída de forma a atender especificamente as demandas específicas de cada período, sem perda de tempo com detalhamento excessivo ou o risco da falta de dados essenciais. A evolução da modelagem em termos de nível de desenvolvimento pode ser realizada de maneira progressiva ao longo do tempo conforme demandarem os parâmetros dos entregáveis.

Destaca-se que para a definição consistente do nível de desenvolvimento de cada item, é imprescindível que todas as partes interessadas nos projetos participem de forma ativa e haja o estabelecimento de um fluxo adequado de informações entre os participantes para que todas as demandas sejam atendidas. Silva e Novaes (2008 apud BIGNOTO, 2019) afirmam que durante desenvolvimento de uma obra, a qual engloba elaboração de projetos, de planejamentos e a execução dos serviços, existem diversas variáveis, o que torna necessário estabelecer a integração entre os membros responsáveis por cada etapa por meio de uma coordenação adequada. Esta coordenação pode ser atribuída a um responsável que deve apresentar boa comunicação para com todas as áreas.

Outro aspecto de alto impacto na implementação de planejamentos com apoio da metodologia BIM é a interoperabilidade entre os softwares utilizados para desenvolvimento dos projetos, elaboração de cronogramas e acompanhamento da execução. Segundo a Autodesk (2019), a interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de trocar dados entre diferentes softwares a partir de um método padrão.

Segundo o BIM Handbook (2011), há várias possibilidades, dentre as quais destacam-se:

- utilização de formatos próprios dos softwares, como DWG e RVT;
- formatos abertos específicos para um segmento, como CIM Steel Information Standards (CIS/2);
- *Schemas* neutros, como Industry Foundation Classes (IFC), BIM Collaboration Format (BCF), Construction Operations Building Information Exchange (COBie) e Green Building XML (gbXML).

A possibilidade de interação entre diversos softwares é de extrema relevância, já que durante as diversas etapas da concepção e da construção são utilizados diversos programas computacionais por profissionais distintos, os quais podem pertencerem a diferentes setores da empresa ou até mesmo serem de diferentes organizações. Além disso, o processo de realização de qualquer obra requer uma constante integração e troca de informações entre todas as áreas, como projetos, orçamentos, planejamento, execução e acompanhamento.

A partir da adoção destas premissas para a elaboração dos projetos, obtém-se insumos valiosos para a construção de um planejamento mais preciso e de um acompanhamento mais automatizado.

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

Segundo Mattos (2010), o planejamento da obra é um dos principais aspectos do gerenciamento, envolvendo diversos processos e atividades como orçamento, compras, gestão de pessoas, comunicações. Logo, por possuir tantas variáveis, é nítido que o processo de construção irá envolver um grande número de informações, fato que demandará um método consistente que permita transformar essas em planos e atividades tangíveis para realização do empreendimento.

Dentre os métodos existentes, os mais tradicionais adotam a técnica CPM, que segundo Mattos (2010), utiliza diagramas que possibilitam estabelecer relações de precedência entre as atividades e definir o caminho crítico do planejamento. Mattos (2010) também define o conceito de caminho crítico como sendo a sequência de atividades, que se sofrer qualquer atraso, irá transmiti-lo ao prazo final do projeto. O autor apresenta que esta

técnica tem como vantagem proporcionar facilidade de leitura e manuseio do encadeamento lógico das atividades.

Entretanto, embora apresente a característica acima e esteja consolidada no cenário atual da construção civil, planejamentos pautados na técnica CPM apresentam deficiências, conforme são as abordadas por Vargas (2018), a não consideração de interferências entre as tarefas, a incerteza na disponibilidade dos recursos e excesso de folgas.

Alinhado às incertezas geradas pelas deficiências do método CPM, são acrescidas as problemáticas de projetos elaborados de maneira tradicional, sem o acréscimo de informações parametrizadas aos elementos modelados, como por exemplo, a incompatibilidades entre projetos, necessidade de alterações durante a execução e comunicação ineficiente entre projetistas, equipe de planejamento e equipe de execução. Estes fatores acarretam em planejamentos incoerentes devido ao alto grau de incerteza e variabilidade das informações adotadas nesta etapa e na visualização precária do sequenciamento construtivo do empreendimento.

Um planejamento incoerente gera impactos altamente prejudiciais em um empreendimento, conforme aponta Mattos (2010, pg. 21),

Nesse contexto, o processo de planejamento e controle passa a cumprir papel fundamental nas empresas, na medida que tem forte impacto no desempenho da produção. Estudos realizados no Brasil e no exterior comprovam esse fato, indicando que deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas de baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade de seus produtos.

Diante disso, torna-se necessário buscar alternativas visando aprimorar o processo de planejamento de forma a permitir reduzir a variabilidade e incertezas das informações. Além disso, é importante que tais técnicas envolvam todas as etapas do ciclo do empreendimento, desde a elaboração dos projetos até a execução dos serviços.

Entretanto, independente das inovações a serem aplicadas, é indispensável compreender as fontes básicas de informações para desenvolvimento e detalhamento do planejamento a fim de compreender onde estão os gargalos e qual é a melhor forma de corrigi-los.

Inicialmente, é necessário dar enfoque para a listagem das atividades a serem executadas no canteiro, tarefa que é realizada por meio da construção da estrutura analítica de projeto (EAP). Segundo Sabino (2016), a EAP pode ser definida como uma ferramenta para a visualização gráfica do trabalho a ser realizado na construção, tendo relevância por

possibilitar compreender o sequenciamento correto das atividades e facilitar o acompanhamento da execução.

Devido a isso, pode-se perceber a importância da construção da EAP, já que essa será a base tanto para a estruturação dos planos necessários para o atingimento dos objetivos da obra como para a orçamentação e acompanhamento. Logo, será um dos principais aspectos a serem considerados na elaboração e adaptação dos projetos da edificação segundo a metodologia BIM, a fim de possibilitar a construção de elementos paramétricos correspondentes as atividades de construção a serem realizadas, de forma a permitir uma integração completa.

Conforme apresenta Álvares (2019), em seu estudo de caso, é necessário alterar o formato padrão de EAP em certas situações, por meio da subdivisão das atividades, a fim de que os elementos dos projetos apresentem a mesma lógica de construção do canteiro de obras e que as atividades presentes na EAP possam ser vinculadas a cada destes elementos.

Com base nos conceitos apresentados anteriormente e com objetivo de estruturar o processo para implementação de novas ferramentas digitais para o monitoramento do progresso da obra, é necessário que a EAP seja compatível com forma de monitoramento visual adotada, por meio de hierarquização e detalhamento das atividades de forma que essas sejam compatíveis com o formato dos dados mensurados, conforme afirma Álvares (2019).

Para consolidar todas as informações coletadas anteriormente e obter um planejamento visual e de fácil comunicação, com a possibilidade de identificação de inconsistências, é necessário contar com um modelo em BIM da edificação com um nível de desenvolvimento (LOD) que atenda todas as partes interessadas. Assim, conforme apresentado por Vargas (2018), a implementação deste modelo permitirá visualizar o plano de ataque da obra, analisar o fluxo de trabalho por meio de simulações 4D e gerar indicadores de controle.

Com a adoção das premissas apresentadas a partir da estruturação de processos consistentes, é possível elaborar um planejamento sólido com informações assertivas para tomada de decisões e construção de planos de ação. Isso possui grande relevância para o alcance de uma maior eficiência do planejamento e controle da produção (PCP), pois conforme apresentado por Fernandes e Filho (2010), dentro dos conhecimentos necessários para executar as atividades do PCP, estão os relacionados com produtos e atividades pertencentes ao processo que será controlado. Como exemplo, tem-se a estrutura do produto,

a forma obtenção dos componentes, estruturação da mão de obra e nível de automação das unidades produtivas.

Após construir um planejamento sólido, pode-se seguir para etapa de monitoramento, à qual será abordada posteriormente com o estudo de novas ferramentas, as denominadas ferramentas digitais.

2.3 SOFTWARES NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS GÊMEOS VIRTUAIS

Barricelli et al (2019 apud GARCIA; BORGES; BRUZA; SANTOS; CORREA, 2022), conceituam gêmeos virtuais como máquinas digitais que irão representar um elemento físico inteligente e progressivo que permite monitorar e otimizar processos, realizar simulações e prever falhas e defeitos antecipadamente.

Com o intuito de compreender os princípios de funcionamento e principais características dos softwares requeridos para a estruturação e implementação dos gêmeos virtuais para acompanhamento do progresso de execução da obra por meio de ferramentas digitais, buscou-se referências técnicas sobre softwares destinados a modelagem dos projetos em BIM, construção do planejamento e processamento de imagens geradas pelas ferramentas digitais (fotogrametria e escaneamento a laser).

2.3.1 Softwares de modelagem de projetos

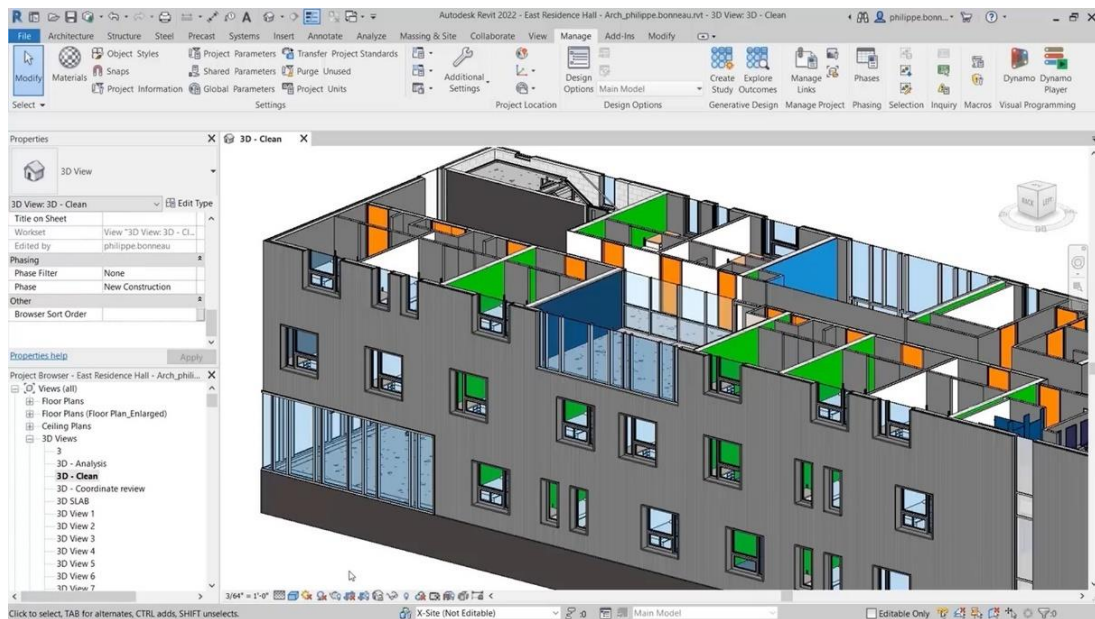
Para entendimento dos processos relacionados a modelagem das diversas disciplinas de projetos e a relação dos elementos presentes nesses com as atividades necessárias para execução dos serviços, o presente trabalho irá analisar o Software Revit, atualmente na versão Revit 2023.

A Autodesk (2020), empresa responsável pelo Software, o define como:

O Revit é uma plataforma de projeto e documentação que suporta projetos, desenhos e tabelas necessários para a Modelagem de Informação da Construção (BIM). A modelagem de informações de construção (Building Information Modeling - BIM) oferece informações sobre projeto, o escopo, as quantidades e as fases do projeto quando forem necessárias.

A seguir, a figura 5 apresenta um exemplo de modelagem de projeto possibilitado pelo software.

Figura 5 - Modelagem BIM pelo software REVIT



Fonte: Autodesk (2022).

2.3.2 Softwares para elaboração de planejamento

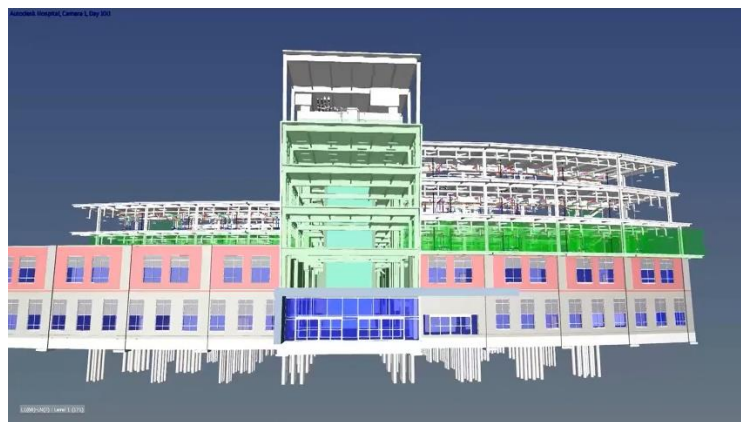
A fim de compreender as etapas necessárias para transcrição dos planos elaborados em arquivos que permitam o fácil entendimento, bem como integração com as demais etapas do Planejamento e Controle da Produção, considerando também novas metodologias de planejamento, o presente trabalho analisou o software NavisWorks Menage.

O NavisWorks Menage, segundo a Autodesk (2020), é um software destinado a aprimorar a coordenação da modelagem de informação da construção (BIM, em inglês *Building Information Modeling*) com a possibilidade de combinar, em um único modelo, informações de projeto e construção, além de identificar e solucionar interferências antes da construção iniciar. Com esta definição, pode-se concluir que o NavisWorks é uma ferramenta que possibilita realizar simulações em 4D do cronograma de execução, além de servir como base para comparação entre os quantitativos dos serviços executados frente ao planejado para

cada etapa, função essencial para a utilização de ferramentas digitais destinadas a obtenção de dados referentes aos serviços executados.

A figura 6 apresenta um exemplo de visualização do estágio da construção em uma data específica por meio de simulações 4D baseadas no cronograma estabelecido.

Figura 6 - Exemplo de simulação 4D do planejamento no software NavisWorks



Fonte: Autodesk (2022).

2.3.3 Software para processamento de imagens

O processamento das imagens obtidas durante o mapeamento, seja por fotogrametria ou por varredura a laser, visa construir um modelo representativo dos elementos físicos.

Para isso, é necessário conhecer softwares que realizem tal função. No presente estudo, para mapeamentos realizados por fotogrametria, será analisado o software Agisoft Metashape.

O Agisoft Metashape, segundo a Agisoft (2022), é um software que realiza processamento fotogramétrico das imagens digitais, possibilitando a geração de dados espaciais 3D. Estas informações podem ser utilizadas em aplicativos GIS, documentação de patrimônio cultural e produção de efeitos visuais, além de medições indiretas de objetos em diversas escalas.

A Modelismobh, empresa responsável pela comercialização de Drones e softwares relacionados ao mapeamento aéreo por fotogrametria, define o Agisoft Metashape como um software destinado a fotogrametria com aplicabilidade na análise de imagens obtidas via drones para elaboração de modelos digitais cartográficos. Tais modelos digitais podem ser nuvens de pontos, texturas em 3D, ortomosaicos georreferenciados, modelo digital de elevação e medidas de área, distâncias, volumes, dentre outros.

A figura 7 demonstra um exemplo de produto obtido com Agisoft Metashape.

Figura 7 - Exemplo de modelo obtido após processamento de dados no software Agisoft Metashape

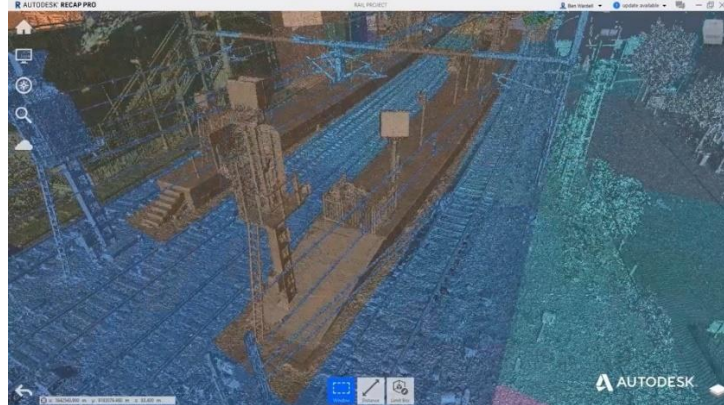


Fonte: Agisoft (2022)

Já para o levantamento de dados realizados por escaneamento a laser, o software ReCap Pro será avaliado. Segundo a Autodesk (2022), o ReCap Pro permite capturar modelos do mundo real, com a possibilidade de obter uma nuvem de pontos apoiada por processo BIM. A Autodesk (2022) também destaca uso do processo de varredura a laser juntamente com o ReCap Pro para gerar modelos inteligentes.

A figura 8 demonstra um exemplo de produto obtido com ReCap Pro.

Figura 8 - Exemplo de modelo obtido após processamento de dados no software ReCap Pro



Fonte: Autodesk (2022)

2.4 MODELO VIRTUAL DA CONSTRUÇÃO

O modelo virtual segundo Alizadehsakei e Yitmen (2016 apud ÁLVARES, 2019) pode ser entendido como uma simulação da construção conforme planejada a partir da vinculação das atividades presentes na Estrutura Analítica de Projeto (EAP) com os elementos paramétricos de projetos desenvolvidos por meio da metodologia BIM (BIM 3D), gerando o modelo BIM 4D.

Segundo Jongeling e Olofsson (2007 apud VARGAS, 2018), ao utilizar os modelos 4D juntamente com novas metodologias de planejamento, é possível simular a obra antes de acontecer, estabelecendo o fluxo de trabalho desejado. Isso pode ser observado no estudo de Vargas (2018), no qual a utilização do planejamento baseado nas zonas de trabalho com apoio da metodologia BIM, por considerar a natureza parcialmente repetitiva das atividades relacionadas a execução da obra, permite captar informações confiáveis e essenciais para uma melhor tomada de decisão com foco no alcance das metas.

A utilização em conjuntos destas metodologias, além de possibilitar a visualização do planejamento definido, com análise e definição das melhores possibilidades de planos de execução dos serviços, identificação de eventuais interferências espaciais e de melhor sequenciamento das atividades conforme aborda Vargas (2020), permite, segundo Alizadehsakei e Yitmen (2016 apud ÁLVARES, 2019), realizar a comparação entre elementos reais do canteiro com os elementos virtuais definidos em projetos.

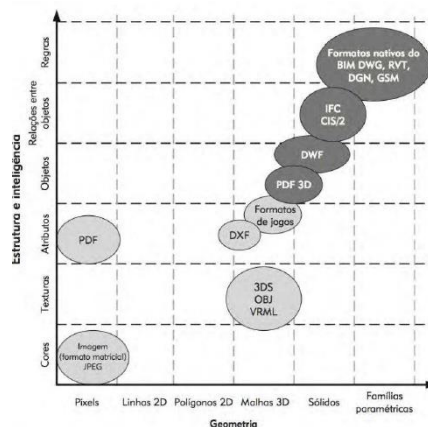
A comparação tem grande potencial nos processos de acompanhamento e controle da produção, com destaque para o monitoramento do avanço físico da obra. Isso pode ser observado no trabalho de Álvares (2019), no qual o monitoramento visual das atividades do canteiro e do controle do progresso real da construção é realizado por meio do uso de ferramentas digitais que permitem realizar um mapeamento 3D do canteiro de obras e dos elementos já executados para posterior comparação com as metas estabelecidas pelo planejamento e estruturadas em um modelo virtual BIM 4D. Os conceitos referentes ao processo de mapeamento 3D para reconstrução de elementos reais em um ambiente virtual serão abordados no decorrer do presente trabalho.

Para desenvolvimento do modelo virtual é necessário compreender a forma de conexão entre os insumos utilizados no processo, no caso o modelo BIM 3D e a estrutura do planejamento. É essencial que seja possível realizar a integração entre as informações, a partir da vinculação de elementos e dados entre os arquivos. Para isso, é necessário atentar-se a interoperabilidade entre os softwares adotados a fim de permitir a troca efetiva das informações.

Segundo Aderle (2017), é possível realizar a troca de informações de duas formas. A primeira é realizada pela utilização de softwares de um mesmo fornecedor, o que garante maior grau de informação, já a segunda ocorre por meio de arquivo que possibilitem o compartilhamento entre softwares de fornecedores distintos por meio de formatos específicos, como o IFC.

A figura 9 apresenta de forma concisa o impacto do tipo de formato de colaboração adotado e o nível de informação da estrutura.

Figura 9 - Relação entre o formato de colaboração e o nível de informação da estrutura



Fonte: EASTMAN (2014) apud ADERLE (2017).

2.5 MODELO FÍSICO DA CONSTRUÇÃO

Segundo Remindino, Álvares, Costa; Melo, (2018 apud ÁLVARES, 2019), o mapeamento 3D de determinado local pode ser definido como a reconstrução digital tridimensional da geometria, posicionamento e textura dos elementos do ambiente por meio de dispositivos.

Os dispositivos disponíveis no contexto atual podem ser denominados ferramentas digitais, podendo ser diferenciados pela técnica utilizada para a realização do mapeamento e as consequentes diferenças entre os produtos finais gerados. As principais técnicas disponíveis atualmente são a fotogrametria digital e o escaneamento por varredura a laser.

Segundo Torres (2016), sistemas baseados em varredura a laser tem seu funcionamento possibilitado devido a um receptor GNSS, uma unidade de medida inercial, que posiciona e orienta o sistema, e a unidade laser propriamente dita, que apresenta um dispositivo destinado a emitir e receber o laser, as quais fornecem medidas de distâncias e ângulos de varredura. Remindino (2011, apud BEMIS, 2014) apresenta que os sensores presentes em dispositivos com funcionamento fundamentado na técnica de varredura a laser utilizam sensores imageadores ativos.

Já a fotogrametria digital, conforme apontam Coelho e Brito (2007), pode ser compreendida como a tecnologia utilizada para obter informações confiáveis de imagens geradas por sensores. Os dados necessários para realização do processo de fotogrametria digital e consequente do mapeamento 3D são obtidos por meio da utilização de sensores imageadores passivos com a função de realizar a captura de imagens, conforme apresentam Remindino(2011, apud ÁLVARES, 2019) e Bemis (2014 apud ÁLVARES, 2019). Além disso, Remindino (2011 apud COELHO; BRITO, 2007), complementa que a fotografia digital também é baseada por formulações matemática.

Independente da metodologia utilizada, após tratamento adequado dos dados de entradas, tem-se produtos denominados nuvem de pontos. Grotelaars (2015 apud ÁLVARES, 2019), define nuvem de pontos como um conjunto de pontos espacialmente distribuídos, onde cada ponto apresenta um conjunto de coordenadas cartesianas e atributos de cor e textura, que representam tridimensionalmente a superfície reconstruída.

Com um acervo adequado de imagens registradas, é possível obter as nuvens de pontos por meio do processamento dessas em softwares específicos para processamento de imagens, como é relatado no trabalho de Álvares (2019).

3 METODOLOGIA

Com o intuito de possibilitar uma construção sólida do conhecimento acerca do tema e uma análise embasada sobre os potenciais resultados da aplicação das tecnologias abordadas pelo presente trabalho no ambiente da construção civil, foi imprescindível realizar estudos acerca de conceitos das metodologias de gerenciamento, de modelagem de projetos e sobre ferramentas digitais utilizadas para mapeamento 3D de áreas com foco na mensuração do progresso físico da construção. Para esse propósito, o estudo busca a construção da fundamentação teórica por meio de pesquisas bibliográficas sobre o assunto em questão.

3.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA BIBLIOGRÁFICA

Para gerar os conhecimentos necessários acerca do tema, possibilitar a compreensão das principais características das ferramentas analisadas e o entendimento dos processos necessários, tanto em etapas anteriores ao monitoramento, quanto para operação propriamente dita dos equipamentos e processamentos dos dados, o presente estudo realizou uma pesquisa exploratória sobre o tema.

Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória tem finalidade de gerar maior familiaridade sobre o assunto, buscando tornar um problema mais claro ou construir hipóteses. O autor ainda afirma que, apesar de apresentar uma estrutura flexível, a pesquisa exploratória geralmente assume a forma de uma pesquisa bibliográfica ou de um estudo de caso.

Como o propósito do presente trabalho é construir uma base sólida de conhecimentos sobre o tema com o objetivo de servir de norte para a implementação futura de novas ferramentas, optou-se por realizar uma pesquisa exploratória bibliográfica.

Gil (2002) define pesquisa bibliográfica como um trabalho desenvolvido com base em materiais já elaborados, como por exemplo, livros e artigos científicos. Além disso, o autor relata que há pesquisas desenvolvidas apenas com fontes bibliográficas, como trabalhos referentes a análises de diversas posições sobre o tema. Por fim, Gil (2002) que o processo de desenvolvimento da pesquisa bibliográfica envolve as seguintes etapas:

- escolha do tema;

- levantamento bibliográfico preliminar;
- formulação dos problemas;
- elaboração do plano provisório de assunto;
- busca de fontes;
- leitura do material
- fichamentos;
- organização lógica do assunto;
- redação do texto.

Ao analisar as características deste tipo de pesquisa, pode-se observar que o mesmo apresenta o diferencial de possibilitar uma maior amplitude do fenômeno estudado. Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica permite uma maior cobertura de uma gama de fenômenos, sem haver grandes dificuldades para obter determinadas informações. Este fato foi determinante para a adoção do referido método no presente trabalho.

3.2 MATERIAIS ANALISADOS

Para o desenvolvimento da pesquisa exploratória bibliográfica, buscou-se referências em dissertações de mestrado, artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, periódicos e livros. Ademais, foram analisadas informações presentes em páginas de organizações relevantes. Destaca-se também que para compreender as peculiaridades e requisitos das ferramentas digitais, foram estudados manuais e páginas de fabricantes dos equipamentos e tecnologias disponíveis.

Os trabalhos científicos analisados apresentaram como palavras-chave para a realização da busca, termos como BIM, monitoramento visual, mapeamento 3D, inovações no setor da construção civil e produtividade na construção civil.

Com base na pesquisa realizada por meio das palavras-chave, foi possível encontrar 33 referências sobre o tema, incluindo teses de mestrado, trabalhos de conclusão de cursos, artigos científicos, livros, publicações de órgãos especializados e manuais de instruções sobre os equipamentos analisados. Dentre os trabalhos encontrados, foram aproveitados um total 17 trabalhos.

A partir dos trabalhos analisados, buscou-se compreender como a aplicação de novas tecnologias que visam a otimização dos processos de acompanhamento das atividades de produção em conjunto com a metodologia BIM podem aprimorar o planejamento e controle da obra, além de permitir o entendimento das demais implicações que essas ferramentas e equipamentos ocasionam às empresas, principalmente relacionadas aos processos de gestão.

Finalmente, por meio da análise das tecnologias e metodologias discutidas, tornou-se viável desenvolver uma conclusão sobre o tema.

4 ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DIGITAIS

4.1 ESTRUTURAÇÃO DO PLANEJAMENTO

A base para a implementação efetiva de novas tecnologias para controle da produção, conforme já abordado anteriormente, é a construção de um planejamento consistente apoiado em metodologias que permitam uma fácil integração com os dados obtidos na etapa de acompanhamento e a realização de análises consistentes.

Para isso, a utilização de modelos paramétricos elaborados por meio da metodologia BIM para obtenção de insumos para o planejamento apresenta grande potencial de benefícios ao longo de todo o processo, como os observados no trabalho de Vargas (2018), onde destacam-se a visualização espacial de interferências, a redução de conflitos espaciais no canteiro e a melhor utilização do espaço físico do canteiro. Além disso, segundo Eastman (2008 apud VARGAS, 2018), por meio da aplicação do BIM, é possível obter informações precisas sobre os recursos necessários para cada atividade.

Segundo Eastman et al (2008 apud BIGNOTO, 2019) utilizar o BIM durante a execução de projetos possibilita sincronizar projeto e planejamento, permitindo identificar interferências entre os elementos, problemas oriundos dos projetos ou do canteiro de obras. Com isso, pode-se reduzir os desperdícios associados.

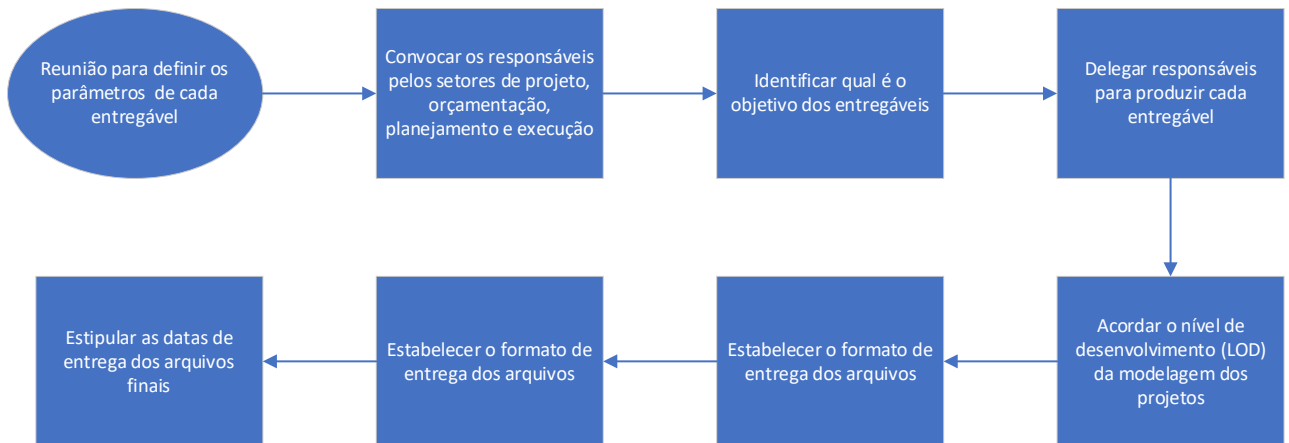
Para permitir a conexão entre as informações provenientes dos projetos com os planejamentos construídos, Vargas (2018) apresenta que é necessário definir os parâmetros necessários dos entregáveis de cada etapa. Para nortear a definição de tais parâmetros, Vargas (2018) aponta ser necessário considerar qual será o uso dos entregáveis, os responsáveis pela autoria do projeto, a data definida para entrega, o nível de desenvolvimento dos elementos paramétricos (LOD) e o formato de entrega, considerando o fator da interoperabilidade entre softwares. Estes parâmetros permitem estabelecer um roteiro para coleta dos insumos necessários para a execução consistente do processo de planejamento e controle da produção, além de possibilitar o desenvolvimento de planejamento em 4D (BIM 4D).

Como grande benefício da consideração das necessidades de cada usuário dos modelos em BIM, Vargas (2018) destaca a maior flexibilidade de saídas dos entregáveis e a possibilidade realizar simulações 4D para definição das melhores alternativas de planejamento.

Para estabelecer o roteiro de forma eficiente, garantindo que informações essenciais não sejam negligenciadas, bem como não ocorra detalhamentos excessivos, o presente trabalho sugere a construção de Procedimentos Operacionais Padrão (POP's).

A seguir, o presente trabalho apresenta, na figura 11, um modelo de procedimento operacional padrão com o objetivo de auxiliar no processo de definição dos parâmetros necessários para construir modelos BIM 4D:

Figura 11 - Procedimento operacional padrão para definição parâmetros necessários para modelos BIM 4D



Fonte: Autor

Após estruturar o processo de definição dos parâmetros, para implementar de forma efetiva planejamento em BIM 4D, é essencial escolher adequadamente os softwares utilizados tanto para elaboração de projetos, como para a construção do planejamento, de forma a atender os requisitos de todas as partes interessadas e evitar entraves durante o compartilhamento de arquivos. No processo de escolha dos softwares, deve-se avaliar as capacitações necessárias, os custos de aquisição de licenças dos programas e a interoperabilidade de informações entre os softwares que serão utilizados ao longo do desenvolvimento e execução do empreendimento.

Para elaboração de projetos softwares em BIM que possibilitem a integração de dados com a fase de planejamento, destaca-se o software REVIT. O software que apresenta como

destaque a possibilidade de modelar projetos arquitetônicos, estruturais, elétricos e hidrossanitários. Além disso, apresenta a funcionalidade de integrar projetos de diversas disciplinas, mesmo que produzidos em diversos softwares, em um único arquivo, como por exemplo projetos elaborados no TQS, Eberick, QIBuilder. Isso é possível por meio da troca de arquivos via processos de interoperabilidade.

A seguir serão analisadas características e informações importantes sobre o software REVIT, como por exemplo, custo de aquisição das licenças, valores de cursos de capacitações e formatos de arquivos aceitos pelo programa.

A versão atual do REVIT na data de elaboração do presente trabalho, REVIT 2023, apresenta licenças que se diferenciam em relação tempo de duração. As licenças atuais disponíveis são: licença mensal, de 1 ano e de 3 anos. Os custos de cada uma dessas, segundo a Autodesk (2022) são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Custos de Aquisição do Revit 2023

Duração da Licença	Custo em 3 anos (R\$)	Custo ao ano (R\$)	Custo ao mês (R\$)
3 anos	R\$ 28.678,00	R\$ 9.559,33	R\$ 796,61
1 ano	R\$ 10.063,00	R\$ 10,063,00	R\$ 838,58
Mensal	R\$ 1.268,00	R\$ 15.216,00	R\$ 1.268,00

Fonte: Autodesk (2022).

No quesito interoperabilidade, o Revit trabalha com os seguintes formatos: Rvt, DWG, DGN, ACIS (SAT), ONJ, Rhinoceros 3DM, Trmble SKP, STL, FormIt (AXM). Além disso, o programa trabalha com a exportação de arquivos no formato IFC.

Para que seja possível aproveitar todos os benefícios da metodologia BIM, é essencial capacitar os membros da equipe em relação a utilização adequada dos recursos e ferramentas dos programas de modelagem e ao fluxo de informações necessário para correta implementação da metodologia. Isso pode ser realizado por meio de capacitações online, as quais apresentam como vantagens, a não necessidade de destinar recursos monetários com deslocamento, a possibilidade de aprender conforme o ritmo de cada membro e a disponibilidade de tirar eventuais dúvidas no momento da execução de determinado projeto.

O presente trabalho pesquisou cursos de modelagem de projetos em REVIT disponíveis na plataforma Implanta BIM. Dentre as possibilidades, foi encontrado um curso que aborda modelagem de projetos arquitetônicos, elétricos, estruturais e hidrossanitário no

valor de R\$ 297,00. Este valor é considerado acessível frente a necessidade de uma modelagem adequada para a boa integração das informações presentes nos projetos com o processo de planejamento e monitoramento.

Com as ferramentas adequadas disponíveis e equipes capacitadas para realizar os projetos na metodologia BIM, será possível utilizar as informações presente nos projetos durante a elaboração do planejamento. Para isso, é necessário alinhar os processos de construção do planejamento com as informações contidas nos elementos paramétricos presentes nos projetos e a utilizar softwares adequados para a construção do planejamento.

O processo de elaboração do planejamento também deve ser analisado a fim de permitir a realização de adequações em sua estrutura de forma a possibilitar o uso das informações extraídas nos projetos em sua totalidade. Logo, o estudo trará conceitos importantes relativos ao planejamento e sua relação com os elementos de projetos baseados na metodologia BIM.

Inicialmente é imprescindível compreender a base de construção de um planejamento, os serviços a serem executados. Conforme apresentado por Mattos (2010), o roteiro do planejamento se inicia com a identificação das atividades, ou seja, todos os serviços que fazem parte da execução do projeto. Mattos (2010) também apresenta que é possível identificar essas atividades por níveis de acordo com sua lógica hierárquica denominada EAP (Estrutura Analítica de Projeto).

Após ter todas as atividades necessárias para a execução da obra registradas e organizadas em níveis de hierarquia, é necessário possuir os quantitativos de cada serviço para estimar os tempos de duração de cada tarefa. Com a implementação da metodologia BIM para desenvolvimento de projetos apresentada anteriormente, é possível obter os quantitativos de forma fácil e automatizada.

Entretanto, destaca-se que para isso, é necessário que as atividades listadas na EAP apresentem níveis de informações compatíveis com a forma de representação dos elementos em projeto e com o método utilizado para obtenção de dados na etapa de acompanhamento. Álvares (2019) relata que para ser possível realizar análises efetivas sobre o progresso físico dos serviços em andamento, a estrutura analítica de projeto (EAP) deve ter detalhamento e hierarquização compatível com a forma de execução dos serviços, com a maneira que se realizará a medição dos serviços realizados e adequada as características dos elementos

paramétricos contidos nos projetos. Assim, será possível vincular todas as atividades aos elementos modelados e obter os respectivos quantitativos de forma automatizada.

Álvares (2019), complementa que o alinhamento entre essas etapas deve considerar informações como camadas, alturas, espessuras, materiais utilizados e demais detalhes construtivos que se mostrarem como relevantes. A autora afirma que isso é necessário para permitir a mensuração de indicadores, já que de nada adianta mensurar a metragem executada de determinado serviço em uma localidade específica, se, pelo projeto, não for possível obter o referido parâmetro para fins de comparação.

Com relação as características dos elementos paramétricos, é importante que o nível de desenvolvimento do projeto (LOD) esteja adequado. O atendimento deste requisito requer a definição de parâmetros relativos ao enquadramento dos entregáveis nos LODs. Como é necessário que cada elemento tenha um LOD específico e o grau de detalhamento pode variar de acordo com o uso ou parte interessada, uma estratégia interessante, segundo Vargas (2018), é a realização da modelagem progressiva, com o refinamento do modelo ao longo do tempo conforme novas demandas de informações sobre os elementos do projeto forem surgindo.

A partir das considerações descritas acima, tem-se condições para construir um planejamento inicial que suportará a adoção de novas tecnologias destinadas ao acompanhamento do progresso dos serviços realizados. O presente trabalho, no tópico seguinte, irá analisar ferramentas digitais, que tem por objetivo proporcionar um processo de obtenção de dados automatizado e uma melhor visualização dos resultados.

Assim como para softwares de modelagem, para o desenvolvimento do planejamento é necessário conhecer o funcionamento e peculiaridades dos softwares empregados ao longo do processo.

A demanda inicial requerida para os softwares de planejamento é capacidade de descrever e sequenciar corretamente a estrutura analítica de projeto, seguido da funcionalidade de vincular as atividades com os elementos dos projetos. Além do processo de detalhamento e sequenciamento das atividades, um fator de extrema relevância é a possibilidade de importação dos projetos em BIM para criar simulações destinadas a análises e disseminação de informações, como também a importação das nuvens de pontos obtidas com as ferramentas digitais para comparação entre os serviços executados e planejados em cada etapa de execução.

Para o entendimento dos procedimentos relacionados a este processo, o presente trabalho irá analisar os softwares disponíveis no mercado e suas principais características. Para estruturação do planejamento destaca-se o NavisWorks, que possibilita a desenvolver a estrutura analítica de projeto (EAP) e obter o cronograma de execução do projeto.

A utilização correta no NavisWorks no processo possibilita ganhos na forma de análise mais efetivas dos planos estabelecidos, por meio da identificação de erros de sequenciamento, interferências entre os serviços e melhora na gestão visual das informações, uma vez que as imagens e vídeos obtidos com as simulações em quatro dimensões (4D) facilitarão a compreensão do que deve ser executado por cada equipe em cada local. As simulações em 4D apresentam 3 dimensões geométricas acrescidas do parâmetro tempo, que considera as durações atribuídas as atividades da EAP.

Em seu trabalho, Álvares (2019) apresenta os benefícios da utilização do software NavisWorks na etapa de planejamento. Segundo a autora, o software possibilita carregar simultaneamente a nuvem de pontos e a modelagem do planejamento em 4D, o que possibilita automatizar mensuração da porcentagem de serviços concluídos frente ao planejado para cada período. Além disso, o processo de análise torna-se mais visual devido a possibilidade de comparar o andamento da execução de cada elemento com o estabelecido em planejamento por meio da codificação dos estágios de cada atividade (em andamento, atrasada e concluída) por cores.

De forma idêntica ao realizado com o software destinado a modelagem, para o NavisWorks, serão analisados os custos de aquisição e valores de capacitações.

A versão atual do software durante a realização da pesquisa, NavisWorks Manage 2023, apresenta a disponibilidade de licença vitalícia no valor de R\$ 1.029,00.

No quesito interoperabilidade, o NavisWorks Manage trabalha com os seguintes formatos: RVT, DXF, IFC, IPT, SKP e 3DM.

Ao analisar os formatos dos arquivos suportados pelos softwares apresentados, nota-se há compatibilidade, já que o NavisWorks suporta arquivos RTV, arquivo nativo do Revit que possibilita carregar todas as informações do modelo, além de trabalhar com o formato IFC, assim como o REVIT. Logo, é possível concluir que há interoperabilidade entre tais e a implementação em conjunto para realização do Planejamento e Controle de Obras (PCP) é viável.

A fim de permitir uma boa execução do processo do início ao fim, também é essencial que a equipe responsável por trabalhar com as funções do NavisWorks possua as habilidades e ferramentas necessárias. Logo, promover treinamentos tanto sobre o software, quanto referente ao processo de análise é imprescindível. Então, assim como para os treinamentos destinados a modelagem dos projetos, pelas mesmas vantagens apresentadas, a busca por cursos online demonstra-se como uma boa oportunidade.

Ao realizar a busca na plataforma Hotmart, identificou-se um treinamento que apresenta tanto as ferramentas e noções básicas sobre o uso software, como por exemplo, ferramentas de medições, de seleção e painéis de navegação, como também conhecimentos específicos referentes a compatibilização de projetos, resolução de interferências, planejamento 4D extração de quantitativos. Para obter o treinamento, investimento necessário é de RS 397,00.

A fim de elevar o conhecimento da equipe sobre a metodologia BIM e os processos que a constituem, capacitações complementares sobre coordenação do processo BIM, abordando de forma mais global conceitos importantes da modelagem, planejamento 4D, orçamento 5D, integração entre as dimensões 3D, 4D e 5D e a compatibilização em termos gerais é de grande valia. Durante a pesquisa na plataforma Hotmart, foi encontrado um treinamento que contempla todos os conteúdos anteriormente citados pelo investimento de R\$ 997,00.

Com a equipe capacitada para executar os processos de forma adequada, torna-se possível executar os processos de planejamento e controle da produção apresentados no presente trabalho com a qualidade desejada.

Desta forma, é possível estabelecer um processo de desenvolvimento do planejamento que permita uma boa integração tanto com a fase de projeto, quanto com a de acompanhamento da execução dos serviços. Entretanto, é necessário possuir métodos para atualizar o planejamento de acordo com o andamento da construção e realizar análises visando identificar desvios na produção e implementar medidas corretivas.

Dentre os métodos para atualizar o planejamento, o presente trabalho irá focar o estudo em ferramentas digitais para monitoramento físico da construção, as quais tem por objetivo facilitar a obtenção de dados relativos aos serviços executados e em execução dentre o canteiro de obras.

4.2 FERRAMENTAS DIGITAIS PARA MONITORAMENTO DO PROGRESSO FÍSICO DA CONSTRUÇÃO

O monitoramento manual da produtividade dos serviços tem se tornado cada vez mais indeficiente, já que demanda um alto esforço e tempo empregados, apresenta alta probabilidade de erros de coleta de dados e risco à segurança dos responsáveis pela medição em certos momentos. Pereira (2019 apud SOUZA, 2020) destaca que o acesso a dados de qualidade no canteiro de obras ainda é problema, principalmente ao grande intervalo de tempo entre a execução do item medido e a coleta de dados propriamente dita, erro humano durante o processo e a dificuldade de expressar informações específicas. Já Turkan (2012 apud SOUZA, 2020) relata que o processo de coleta de dados atual apresenta demasiadamente demorado.

Com o objetivo de automatizar o processo, além de possibilitar a comparação entre os elementos construídos na obra frente ao concebido e planejado no modelo virtual, o presente trabalho propõe o estudo o uso de novas tecnologias, denominadas ferramentas digitais, no canteiro de obras. Dentre as tecnologias possíveis, serão analisados o mapeamento 3D por fotogrametria com o apoio de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's), mapeamento 3D de baixa complexidade com utilização de dispositivos móvel e escaneamento a laser por varredura eletrônica.

O objetivo final da realização de levantamentos de dados via mapeamento 3D, segundo Alizadehsakeihia e Yitmen (2016 apud ÁLVARES, 2019), é a comparação entre elementos reais existentes e elementos virtuais elaborados nos projetos, permitindo comparar o que de fato foi construído em relação ao estipulado para cada período.

Para atingir tal objetivo, conforme analisado no capítulo anterior, o processo de mapeamento deve estar alinhado com as demais etapas do PCP de forma a evitar inconsistências entre o detalhamento do planejamento e os elementos modelados nos projetos em BIM, estabelecer um fluxo adequado de informações e permitir a sobreposição dos modelos gerados pelo mapeamento 3D e pela modelagem dos projetos. Isso é essencial para automatizar o processo de obtenção dos dados, reduzir eventuais erros de coleta e possibilitar uma comunicação eficiente do status de execução de cada atividade e dos próximos objetivos para a equipe.

Assim, no presente trabalho, serão abordados pontos importantes para uma execução eficiente do mapeamento.

Inicialmente, afim de gerar uma base de conhecimento para implementação das tecnologias estudadas, serão analisados os tipos de equipamentos disponíveis e seus respectivos custos, órgãos e agências regulamentadoras referente as questões de voo, características e funcionalidades dos modelos disponíveis, parâmetros requeridos para planejamento e execução do levantamento de dados, cuidados necessários para a utilização adequada e segura e processos necessários para integrar os dados aqui obtidos com os desenvolvidos nas etapas anteriores.

4.2.1 Mapeamento por Fotogrametria

Segundo a Autodesk (2022), a fotogrametria é a arte e a ciência de extrair informação 3D de fotografias. O processo envolve tirar fotografias sobrepostas de um objeto, estrutura ou espaço e convertê-las em modelos digitais 2D ou 3D.

Os modelos são obtidos por meio de mapeamentos 3D. Como este é baseado no processamento de imagens, as quais devem atender certos parâmetros, como por exemplo, qualidade de resolução da fotografia e sobreposição de cenas entre as imagens, é necessário compreender todos os equipamentos, softwares e procedimentos requeridos para a realizar o processo com qualidade e avaliar os custos de implantação, os resultados esperados e prováveis empecilhos que possam impedir seu aproveitamento.

A aplicação dessas ferramentas apresenta a vantagem de adaptar-se as características do ambiente dos canteiros de obra, como obras verticais com múltiplos pavimento ou obras longitudinais de grande extensão. Conforme afirmam Neto, Caldeira e Faria (2021), é possível obter, com qualidade, dados assertivos de maneira segura por meio das imagens obtidas com os drones, além de ampliar o alcance do monitoramento se comparado a métodos tradicionais.

4.2.1.1 Processos para implementação do mapeamento por fotogrametria

Com o alinhamento anteriormente apresentado executado de forma correta, parte-se para uma etapa chave para a realização do levantamento de dados, a captura de imagens que

serão a base para elaboração da nuvem de pontos. Entretanto, o processo não se baseia simplesmente em tirar fotografias de forma aleatória do local, sendo necessário obter certas informações para elaborar o mapeamento 3D por fotogrametria do canteiro de obras. Nesta etapa, conforme abordado no estudo de Álvares (2019) são necessárias as seguintes atividades:

- Definir do protocolo de voo considerando o objetivo pretendido para as imagens, condições físicas do canteiro e atividades a serem mensuradas;
- Ajustar os parâmetros de voo;
- Ajustar o registro das imagens;
- Escolher da forma de controle do voo (voos automáticos ou manuais) considerando os aplicativos necessárias para a operação;
- Selecionar as fotos;
- Ajuste dos parâmetros de processamento das imagens para atingir o adequado nível de visualização da nuvem de pontos;
- Estabelecer forma de compartilhamento dos produtos gerados.

Por fim, é fundamental realizar a sobreposição do modelo de nuvem de pontos gerado via mapeamento 3D por fotogrametria ao modelo BIM 4D. Para isso, conforme apresentado no Álvares (2019), a nuvem de pontos deve apresentar um nível de visibilidade que permita obter informações visuais da superfície mapeada, juntamente com a diferenciação dos elementos com clareza adequada para a realização do comparativo entre o progresso real e o progresso planejado.

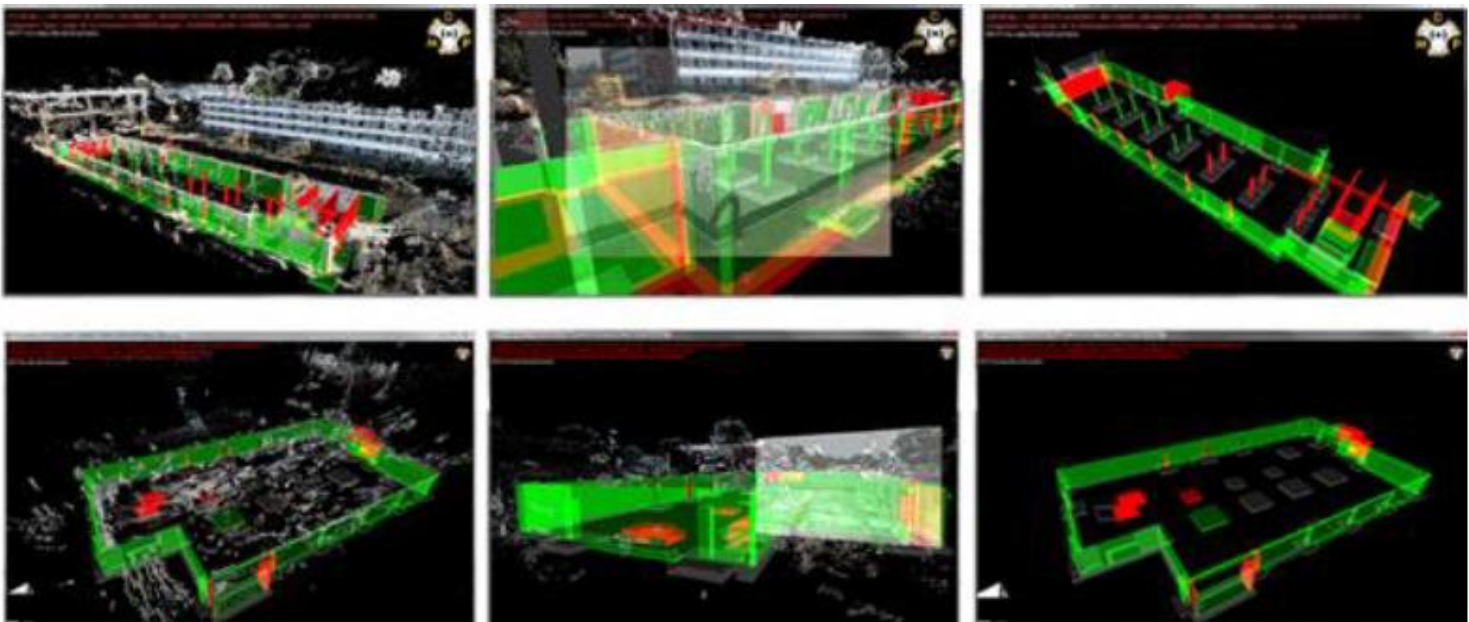
A boa visibilidade e a diferenciação dos elementos são obtidas por meio da definição da densidade da nuvem de pontos no programa de processamento de imagens, no qual, quanto maior for a qualidade estipulada, maior será a demanda por processamento do hardware utilizado e maior o tempo para realização. Logo, Álvares (2019) afirma ser imprescindível testar várias densidades de nuvens de pontos e definir aquela que melhor se adequa as características das obras executadas. Isso permitirá que os modelos gerados representem adequadamente a realidade da construção sem demandar tempo e gastos com processamento desnecessários.

A sobreposição dos modelos, conforme apresentado no capítulo de estruturação do planejamento, deve ser realizada no software utilizado previamente para elaboração do modelo 4D. Devido a isso, a nuvem de pontos deve ser gerada em um arquivo com formato

compatível para exportação aos softwares utilizados para desenvolvimento e análise do modelo 4D (modelo virtual).

A figura 12 apresenta um exemplo de sobreposição entre modelo físico e virtual com codificação para análise do status dos serviços em andamento conforme os planos estabelecidos.

Figura 12 – Exemplo de sobreposição entre o modelo físico e o virtual para análise do status dos serviços em andamento



Fonte: Golpavar-Fard, Peña-Mmora e Savarese (2015), apud Alvares (2019).

Ao realizar os procedimentos apresentados, obtém-se uma integração efetiva entre o modelo virtual, construído a partir dos projetos e planejamentos, e o modelo físico representativo da situação real da construção, obtido por ferramentas digitais destinadas a mensuração do progresso das atividades e controle da produção,

4.2.1.2 Equipamentos disponíveis para realização do monitoramento

Para avaliar de forma mais precisa as variáveis relacionadas a implementação do mapeamento 3D por fotogrametria com apoio de VANT's, como investimentos e processos relacionados a operação, inicialmente é necessário conhecer os tipos e as características dos equipamentos compatíveis com o mapeamento aéreo.

A publicação da *mappa* (2021) lista modelos de drones compatíveis para a realização do mapeamento e os respectivos aplicativos necessários para isso. Estas informações estão apresentadas no quadro a seguir:

Quadro 1 – Lista de veículos aéreos não tripulados de veículos aéreos não tripulados (VANT's) compatíveis com mapeamento aéreo

TIPO DE VANT	APLICATIVOS ASSOCIADOS
MAVIC AIR 2S	DRONE HARMONY (APENAS ANDROID)
MAVIC AIR 2	DRONE HARMONY (APENAS ANDROID); LITCHI (IOS)
MAVIC AIR MINI 2	DRONE HARMONY (APENAS ANDROID); DRONE LINK
MAVIC MINI SE	DRONE HARMONY (APENAS ANDROID); LITCHI (IOS)
MAVIC MINI	DRONE HARMONY; DRONE LINK
MAVIC 2 PRO	DRONE HARMONY; DRONE LINK
MAVIC PRO	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 4	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 4 PRO 1	DRONE HARMONY
PHANTOM 4 ADVANCED	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 4 PRO V2.0	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 4 RTK COM SDK RC	DRONE HARMONY
PHANTOM 3 ADVANCED	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 3 PROFESSIONAL	DRONE HARMONY; DRONE LINK
PHANTOM 3 STANDARD	DRONE HARMONY
PHANTOM 3 4K	DRONE HARMONY
INSPIRE 1 (X3,X5,XT)	PIX4DCAPTURE
INSPIRE 2 (X4S,X5S)	PIX4DCAPTURE
MAVIC 2 ENTERPRISE (DUAL)	DRONE HARMONY
MATRICE 100 (X3,X5,XT)	DRONE HARMONY
MATRICE 200	DRONE HARMONY
MATRICE 200 V2 SERIES	DJI GROUND STATION PRO
MATRICE 210	DRONE HARMONY
MATRICE 210 RTK	DRONE HARMONY; DRONE LINK
MATRICE 600	SKYDRONE
SPARK	DRONE HARMONY

Fonte: mappa (2021)

Os aplicativos apresentados no quadro a cima são utilizados em *smartphones* e tem funções de realizar a captura de dados e o planejamento de voo. Esses são fundamentais para o processo, já que com eles é possível obter as imagens necessárias para a criação da nuvem de pontos e transmiti-las para os softwares destinados ao processamento de dados.

A fim de elevar o conhecimento dos procedimentos a serem realizados durante o mapeamento, serão detalhadas características do aplicativo Drone Harmony.

A plataforma Drone Harmony, segundo a fabricante de mesmo nome, apresenta as seguintes possibilidades:

- Execução de todas as ações da fase de planejamento do voo;
- Ajuste de cantos e bordas das cenas capturadas;
- Realização de edições específicas em itens selecionadas.

Já a PIX4D, responsável pelo aplicativo PIX4Dcapture, relata que o aplicativo possui funcionalidades como:

- Definição do ângulo da câmera, sobreposição de imagens e velocidade de voo;
- Carregamento das imagens para o software Pix4D;
- Planejamento da missão do mapeamento com ajuste do plano e parâmetros de voo do drone.

4.2.1.3 Custos para aquisição dos equipamentos

Com base nos drones com compatibilidade para realização do mapeamento, realizou-se um levantamento de valores base para a aquisição de diversos modelos. Isso tem por objetivo auxiliar na mensuração do investimento necessário para implementar as melhorias propostas pelo presente trabalho, bem como auxiliar em escolhas futuras referentes ao tipo de equipamento a ser adotado.

Para isso, foram analisadas as empresas Modelismobh e Fly Pro que comercializam VANT's presentes no território brasileiro. A tabela abaixo apresenta os valores de certos modelos de equipamentos.

Tabela 2 - Valores de VANT's compatíveis com mapeamento aéreo

Modelo de VANT	Valor
Drone DJI Mavic Min 2 Fly More Combo	R\$ 7.740,00
Drone DJI Mavic 2 Air Fly More Combo	R\$ 11.790,00
Drone DJI Mavic Air 2S Fly More Combo	R\$ 15.290,00
Drone DJI Phantom 4RTK	R\$ 43.792,05
Drone DJI Phantom 4RTK + D-RTK 2 Gns Mobile Station + Tripé	R\$ 72.351,42
Drone DJI Phantom 4 Multispectral RTK + D-RTK 2 Gns Mobile Station + Tripé	R\$ 91.602,07
Drone DJI Mavic 2 Enterprise Advanced	R\$ 48.921,32

Fonte: Modelismobh e Fly Pro (2022)

Pode-se observar três faixas bem distintas de valores entre os modelos: até R\$ 20.000,00, de R\$ 20.000,00 a R\$ 70.000,00 e valores maiores que R\$ 70.000,00. Diante desta diferença expressiva e de grande impacto para escolha o modelo, torna-se necessário investigar de forma aprofundada as diferenças técnicas, operacionais e de aplicação dos modelos pertencentes a cada um dos três grupos.

Por meio da análise de manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes, pode-se caracterizar os modelos da seguinte forma:

Equipamentos com valores inferiores a R\$ 20.000,00:

- Drone DJI Mavic Min 2 Fly More Combo:
 - Peso: 249 gramas;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e externos;
 - Imagens em 12 MP;
 - Transmissão máxima de 10 Km;
 - Tempo máximo de voo de 31 minutos (em regiões sem vento com velocidade de 17 Km/h);
- Drone DJI Mavic 2 Air Fly More Combo
 - Peso: 249 gramas;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e ao ar livre;
 - Imagens em 48 MP;
 - Transmissão máxima de 10 Km;

- Tempo máximo de voo de 34 minutos (em regiões sem vento com velocidade de 18 Km/h)
- Drone DJI Mavic Air 2S Fly More Combo:
 - Peso: 600 gramas;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e externo;
 - Imagens em 20 MP;
 - Transmissão máxima de 12 Km;
 - Tempo máximo de voo de 30 minutos (em regiões sem vento com velocidade de 17 Km/h);
 - Tecnologia HDR permitindo maiores detalhe no realce de sombras gerando imagens com maior profundidade;
 - Sensor de ambiente em quatro dimensões, possibilitando que o dispositivo evite obstáculos em ambientes complexos.

Equipamentos com valores de R\$ 20.000,00 a R\$ 70.000,00:

- Drone DJI Phantom 4RTK:
 - Peso: 1391 gramas;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e ao ar livre;
 - Imagens em 20 MP;
 - Transmissão máxima de 7 Km;
 - Tempo máximo de voo de 30 minutos;
 - Acesso a aplicativos de outros fornecedores;
 - Sistema de posicionamento em nível de centímetro, com fornecimento de dados de posicionamento em tempo real; (fotogrametria, voo de waypoint, reconhecimento de terreno), o que permite a otimização do fluxo de trabalho;
 - Disponibilidade de aplicativo que permite diversos modos de planejamento.
- Drone DJI Mavic 2 Enterprise Advanced:
 - Peso: 909 g
 - Imagens em 48 MP;
 - Transmissão máxima de 10 Km;
 - Precisão de posicionamento centimétrica;
 - Tempo máximo de voo de 31 minutos (em regiões sem vento com velocidade de 25 Km/h);
 - Detecção de obstáculos omnidirecional para maior segurança de voo;

- Criação de até 240 *waypoints* para realizar missões de inspeção detalhadas e automatizadas em ambientes complexos.

Equipamentos com valores superiores a R\$ 70.000,00:

- Drone DJI Phantom 4RTK + D-RTK 2 Gns Mobile Station + Tripé:
 - Peso: 1391 gramas;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e ao ar livre;
 - Imagens em 20 MP;
 - Transmissão máxima de 7 Km;
 - Tempo máximo de voo de 30 minutos;
 - Acesso a aplicativos de outros fornecedores;
 - Sistema de posicionamento em nível de centímetro, com fornecimento de dados de posicionamento em tempo real; (fotogrametria, voo de waypoint, reconhecimento de terreno), o que permite a otimização do fluxo de trabalho;
 - Disponibilidade de aplicativo que permite diversos modos de planejamento.
 - Estação móvel D-RTK 2 (receptor GNSS de alta precisão), permitindo correções diferenciais em tempo real com consequente geração de dados de posicionamento centimétricos para maior precisão relativa.
- Drone DJI Phantom 4 Multispectral RTK + D-RTK 2 Gns Mobile Station + Tripé
 - Peso: 1487 g;
 - Possibilidade de voo estacionário e voos em ambientes internos e ao ar livre;
 - Arranjo de 5 câmeras;
 - Precisão em níveis de centímetros
 - Planejamento de voos e execução de missões automáticas;
 - Transmissão máxima de 7 Km;
 - Tempo máximo de voo de 27 minutos;
 - Sensor solar espectral integrado que captura radiação solar, potencializando a precisão e a consistência de dados ao longo dos diversos períodos do dia;
 - Estação móvel D-RTK 2 (receptor GNSS de alta precisão), permitindo correções diferenciais em tempo real com consequente geração de dados de posicionamento centimétricos para maior precisão relativa.
 - Foco em agricultura de precisão e inspeção ambiental.

Ao analisar as características e especificações técnicas dos dispositivos pertencentes a cada faixa de valores, pode-se observar que os principais parâmetros a serem analisados para a escolha do equipamento mais adequado para o mapeamento por fotogrametria são: qualidade da imagem, tempo de voo, distância máxima para transmissão de dados e sistemas para posicionamento e planejamento de voo.

Dentre as características apresentadas, nota-se que o tempo de voo e a distância máxima para transmissão de informações não apresentam diferenças significativas entre os modelos.

Todos dispositivos analisados possuem a possibilidade de realizar voos de aproximadamente 25 a 30 minutos, período suficiente para mapear canteiros de obras de portes tradicionais. Em relação à distância máxima possível para realizar a transmissão de dados, os equipamentos apresentam abrangência de 7 a 10 Km, o que torna viável a utilização desses modelos apresentados neste trabalho.

Apesar de haver uma alta variação entre as qualidades das imagens obtidas com cada drone, de 12 Mp a 48 Mp, para fim de mapeamento por fotogrametria, no qual há o tratamento e processamento das imagens, com objetivo de monitorar o avanço físico dos elementos construídos sem um grande grau de detalhamento exigido, mesmo equipamentos com imagens de 12 Mp tendem a atender os requisitos para realização de tal objetivo.

Pode-se então concluir que as principais diferenças entre os dispositivos apresentados estão em sensores de posicionamento, detecção de obstáculos e planejamento e automatização de voos.

Assim, partindo do princípio que o mapeamento por fotogrametria será realizado em construções de porte tradicionais, como edifícios de múltiplos pavimentos, para obtenção de quantitativos dos elementos já executados, o uso de Drones com valores superiores a R\$ 70.000,00 mostra-se desnecessário em um primeiro momento, com exceção de situações especiais, as quais requerem a realização de estudos e análise mais aprofundadas.

Com relação as duas faixas de valores inferiores, de até R\$ 20.000,00 e de R\$ 20.000,00 a R\$ 70.000,00, a primeira apresenta grande potencial de utilização, principalmente nos casos de introdução da tecnologia na realidade da empresa, uma vez que permitirá o mapeamento e coleta de informações com um investimento menor. Entretanto, para canteiros de obras com peculiaridades, como por exemplo, muitos obstáculos que possam dificultar a operação de voo, implementar equipamentos presentes na segunda faixa de valores pode ser

demonstrar como viável devido à presença de sensores de posicionamento mais complexos e precisos.

4.2.1.4 Procedimentos necessários para a operação dos equipamentos

Para realização do mapeamento com apoio de VANTs, é necessário possuir o registro legal de uso de Drone na Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC, 2017), no Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA, 2020) e na Agência Nacional de telecomunicações (ANATEL 2020).

Os registros legais na ANAC e no DECEA, que podem ser realizados junto com a compra do equipamento, apresentam grande importância pois permitem o agendamento e operação de voos com segurança e evitam problemas com multas, apreensão do equipamento e processos no campo administrativo, civil e penal.

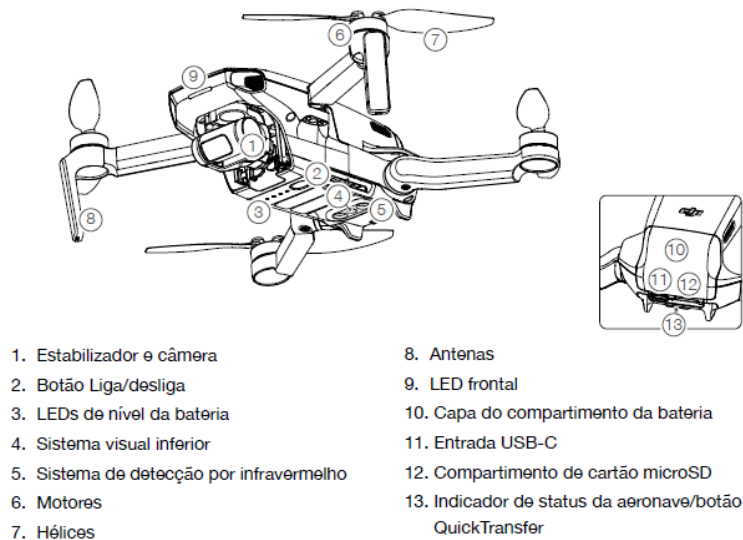
Os valores para aquisição de ambos os registros, segundo a Modelismobh (2022), na data de realização do presente trabalho, são de R\$ 222,22.

Sobre a operação propriamente dita do equipamento, será analisado o manual de um dos modelos citados anteriormente a fim de tornar mais palpável todos os procedimentos necessários para executar voos com VANT's de forma segura e eficiente.

O manual do usuário do equipamento DJI Mini 2 (2020) foi analisado com o intuito de se obter as premissas básicas para boa operação do equipamento, os modos de funcionamento disponíveis e cuidados a serem adotados tanto em relação ao Drone quanto com ambiente a ser mapeado.

A figura 13 ilustra o drone tipo DJI Mini 2 e as principais características do VANT.

Figura 13 - Ilustração do drone DJI Mini 2



Fonte: DJI (2020).

Inicialmente é necessário realizar o preparo da aeronave, sendo necessário seguir os procedimentos descritos abaixo:

- retirar o suporte das hélices;
- remover o protetor do estabilizador da câmera;
- desdobrar os braços dianteiros, traseiros e todas as hélices;
- ativar as baterias de voo inteligente via carregador USB;
- preparar controle remoto, parafusando os pinos de controle;
- conectar dispositivo móvel ao controle remoto.

No caso de primeira utilização do drone é necessário, após ligar a aeronave, realizar as configurações iniciais pelo aplicativo DJI Fly.

Além do conhecimento dos procedimentos básicos para configuração da aeronave, é importante compreender os modos de voo disponíveis, sendo eles: modo normal, modo esportivo, modo cine e modo altitude, os quais são apresentados com mais detalhes a seguir:

- Modo normal: utiliza GPS e sistema visual inferior (em casos onde o sinal de GPS esteja fraco) para localização e estabilização do dispositivo;

- Modo esportivo: também utiliza GPS e sistema visual inferior, assim como no modo normal, porém as respostas da aeronave são otimizadas para maior agilidade e velocidade;
- Modo Cine: tem base nas características do modo normal, diferenciando-se pela velocidade (6m/s), possuindo maior estabilidade na captura de imagens;
- Modo atitude: é utilizado quando o sistema visual estiver indisponível, o sinal do GPS estiver fraco ou a bússola sofrer interferência. Nesta situação, o drone sofre alto impacto do ambiente, como por exemplo, fortes ventos, e não pode se posicionar ou frear de forma automática. Destaca-se que, na referida situação, os riscos de voos são maiores.

Ao analisar as características dos modos de voo disponíveis, nota-se que no modo esportivo, pequenos movimentos no controle geram uma grande movimentação no percurso, o que em locais com muitos objetos, caso dos canteiros e obras, aumenta a probabilidade de colisões e acidentes. Portanto, tal modo não é o mais indicado para a captura de imagens para realização do mapeamento.

Já os modos normal e cine apresentam semelhanças. Entretanto, por proporcionar maior estabilidade durante o processo de captura de imagens, o modo cine torna-se o mais indicado para o processo.

Em relação a operação de voo e captura de imagens, é possível realizá-la com um dispositivo móvel conectado ou não ao controle remoto.

No caso de dispositivo móvel não conectado ao controle remoto, o processo ocorre da seguinte forma:

- Pressionar QuickTransfer;
- Verificar se o LED frontal inicialmente piscará em azul lentamente, passando a pulsar na cor azul posteriormente;
- Verificar se estão habilitados o Bluetooth e Wi-Fi;
- Iniciar aplicativo DJI Fly;
- Selecionar opção conectar para possibilitar o acesso e downloads de arquivos.

Nas situações de dispositivo conectado ao controle remoto, são realizados os seguintes passos:

- Verificar a conexão entre aeronave e o dispositivo via controle remoto;

- Verificar que os motores ainda não tenham dado partida;
- Habilitar o bluetooth e Wi-Fi no dispositivo;
- Iniciar o aplicativo DJI Fly;

Outro ponto de extrema relevância é o retorno da aeronave a base. Este retorno pode ser realizado das seguintes formas:

- pelo aplicativo DJI Fly ou pelo botão do controle remoto (Smart RTH);
- de forma automática em situações em que o nível de bateria de voo inteligente não apresente energia suficiente (RTH de baixa bateria), onde a direção pode ser ajustada, mas o pouso não pode ser interrompido;
- de forma automática para o ponto de origem registrado quando o sinal do controle remoto for perdido por mais de 11 segundos (RTH à prova de falhas).

A noção destes conceitos é fundamental para que o operador realize as configurações necessárias para um retorno a base com segurança e esteja preparado para situações de retorno a base devido à baixa baterias.

Em relação a captura de imagens, fundamental para o mapeamento por fotogrametria, é imprescindível atentar-se para as seguintes etapas:

- Garantir que a bateria de voo inteligente possua carga suficiente;
- Realizar decolagem;
- Manter aeronave a menos de 2m;
- Selecionar o ícone de modo de disparo no aplicativo;
- Verificar a não ocorrência de obstáculos na área circundante;
- Selecionar o alvo pela visualização da câmera.

A fim de nortear a operação da aeronave, serão apresentados os principais botões de comando do controle:

- Pino Acelerador: tem a função de alterar a altitude da aeronave, com a intensidade do deslocamento do pino refletindo a rapidez com que a altitude é alterada;
- Pino de guinada: possibilita controlar a orientação da aeronave por meio de giros horizontais;
- Pino de Inclinação: permite com que a aeronave avance ou recue;
- Pino de rotação: permite com que a aeronave se desloque para a esquerda e direita;

- Botão de pouso: ativa o voo estacionário.

A seguir, serão apresentadas práticas essenciais para realização de um voo seguro com coleta adequada de imagens para o mapeamento via fotogrametria. Dentre as melhores práticas para a realização do voo, destacam-se:

- Não exceder a altura máxima de 500 m;
- Não operar o equipamento com chuva, neblina e ventos com velocidades superiores a 10 m/s;
- Evitar grandes estruturas em metal que podem afetar a precisão da bússola;
- Manter equipamento 3 m acima da água;
- Evitar áreas com linhas de tensão, subestações, torres de transmissão e similares.

Por fim, é fundamental respeitar os limites de voo estabelecidos pelas organizações de autorregulamentação (Organização Internacional de Aviação, Administração Federal de Aviação e autoridades locais) e as zonas GEO (locais onde o Drone não tem permissão para voar sobre), como por exemplo, aeroportos, fronteiras entre países, locais restritos e campos de voos para aeronaves tripuladas. Estas áreas estão listadas no site oficial do aplicativo, e quando o VANT se aproxima de uma dessas, um aviso é emitido pelo aplicativo e a aeronave é impedida de voar

4.2.1.5 Software para processamento de imagens

Assim como realizado para os softwares de modelagem de projetos e elaboração de planejamento, o presente estudo realizará a análise das características dos softwares destinados ao processamento de imagens para elaboração de representações dos modelos físicos reais via nuvens de pontos. Os custos aqui mensurados também terão papel importante na análise dos investimentos totais necessários para a implementação de gêmeos virtuais.

O software para processamento de imagens analisado pelo presente trabalho foi o Agisoft Metashape. As licenças atuais disponíveis são: Professional Edition – Licença Node-Locked, Professional Edition – Licença Flutuante, Professional Edition – Licença Educacional Node-Locked e Professional Edition – Licença Educacional Flutuante e diferenciam-se em relação número de cadastros permitidos em diferentes computadores e

permissão de uso em projetos comerciais. Os custos de cada uma dessas são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3 - Valores de VANT's compatíveis com mapeamento aéreo

Duração da Licença	Detalhes	Custo (R\$)
Professional Edition - Licença Node-Locked	Possibilita o ativamento do programa em uma máquina (pode ser transferida de uma máquina para outra); Permite utilização projetos pagos e não pagos; Estão inclusos 12 meses de suporte técnico.	R\$ 18.121,26
Professional Edition - Licença Flutuante	Possibilita instalação em quantos computadores forem desejados; Permite utilização projetos pagos e não pagos; Estão inclusos 12 meses de suporte técnico.	R\$ 36.242,51
Professional Edition - Licença Educacional Node-Locked	Possibilita o ativamento do programa em uma máquina (pode ser transferida de uma máquina para outra); Estas licenças estão disponíveis para instituições de ensino credenciadas, sendo o uso comercial do software; Estão inclusos 12 meses de suporte técnico.	R\$ 2.843,46
Professional Edition - Licença Educacional Flutuante	Possibilita instalação em quantos computadores forem desejados; Estas licenças estão disponíveis para instituições de ensino credenciadas, sendo o uso comercial do software; Estão inclusos 12 meses de suporte técnico.	R\$ 5.686,93

Fonte: Modelismobh e Fly Pro (2022)

Com base na análise dos valores e características das licenças disponíveis para utilização do Agisoft Metashape, pode-se concluir que dentre as que permitem o uso comercial, a licença Professional Edition - Licença Node-Locked apresenta-se como mais adequada devido a um menor investimento inicial requerido. A limitação desta versão, a possibilidade de utilizar o programa em apenas um computador, não impactará tanto o processo de implementação devido ao fato de que, inicialmente, a etapa de processamento de dados pode ser destinada para apenas um membro da equipe.

4.2.1.6 Análise do processo

Com base nos pontos discutidos anteriormente, pode-se concluir que os principais empecilhos ao bom desempenho do mapeamento por fotogrametria estão relacionados a uma

baixa compatibilidade dos produtos obtidos pelo mapeamento com as informações requeridas para preenchimento dos indicadores de cada etapa do planejamento, não alinhamento com o fluxo de informações ao longo das etapas do PCP, falta de preparação dos membros responsáveis e limitações de voo devido a condições climáticas e legais.

A compatibilidade de dados entre as etapas de planejamento e monitoramento tende a ser prejudicada por modelagem com grau de detalhamento inadequado dos elementos de projeto e descrição das atividades a serem executadas sem uma vinculação com elementos dos projetos. Para evitar isso, seguir os procedimentos apresentados no tópico sobre a estruturação do planejamento é essencial.

Outro ponto de extrema relevância que pode ser prejudicial para obtenção de bons resultados com o mapeamento é a falta de um planejamento de voo e uma captura de imagens ineficiente. Isso pode ocorrer devido tanto a inexperiência da equipe quanto a operação do drone, como pelo pouco conhecimento dos parâmetros necessários para a construção de uma nuvem de pontos com qualidade adequada para o monitoramento.

A fim de contornar tal problemática, além da capacitação referente ao equipamento, sugere-se a realização de eventos teste em locais específicos, como por exemplo, áreas que já foram medidas por meio dos métodos tradicionais, como trenas, de modo a permitir uma análise da precisão dos dados coletados via monitoramento por fotogrametria, e a criação de mais de uma nuvem de pontos para realizar de análises referentes a qualidades dessas e definir os melhores procedimentos para obtenção dos dados necessários.

Os custos para implementação da tecnologia de monitoramento via fotogrametria com apoio de drones, abrangendo desde as modificações necessárias na fase de planejamento, novos softwares necessários para criação de nuvem de pontos equipamento apresentam valores razoáveis se comparados a outros custos da construção, principalmente ao considerar a aplicabilidade da tecnologia em vários empreendimentos, fato que dilui o valor gasto por obra e aumento o retorno obtido.

Vale destacar que o valor de investimento sofrerá um acréscimo caso a organização ainda não adote software BIM ao longo do processo. Entretanto, a adoção de softwares para a implementação da metodologia BIM se notabiliza por ser cada vez mais uma necessidade, independente da implementação do mapeamento aéreo, devido as demandas atuais do mercado da construção civil.

Em relação aos benefícios proporcionados pela adoção desta tecnologia, pode-se observar a automatização do processo de coleta de dados com a consequente redução de tempo gasto durante o processo, o aumento da precisão dos dados, a maior agilidade no processo de análise de indicadores e a garantia de segurança frente a acidentes. Isso é possibilitado pelas características físicas e de operação dos aparelhos, que permitem boa adaptação às características do canteiro e características dos produtos obtidos com o levantamento, como por exemplo, a sobreposição da nuvem de pontos sobre os modelos virtuais.

Além da análise em si, a sobreposição dos modelos também permitirá a difusão das informações relativas à execução dos serviços, como comunicação de pendências e correções necessárias para todas as equipes de forma clara, por meio de imagens das simulações 4D que representem a relação entre o que foi planejado ao longo de um período e o de fato realizado.

Portanto, nota-se que a implementação de fotogrametria com apoio de VANTs para realizar mapeamento 3D tem grande potencial de gerar impactos positivos para o gerenciamento da construção. Porém, fica claro que sem um planejamento sólido e compatível, perde-se muito dos benefícios ofertados pela tecnologia em questão.

4.2.2 Mapeamento por Escaneamento a Laser

O mapeamento por varredura eletrônica, segundo Tavares (2020), utiliza equipamentos denominados do tipo LiDAR (*Ligh Detection And Ranguing*), que tem seu funcionamento baseado na emissão de feixes de luz com específicos aspectos e comprimentos de ondas que partem do equipamento e se propagam em todas as direções. Isso ocorre no plano horizontal a 360° e no plano vertical a 300° aproximadamente.

Tavares (2020) relata que o funcionamento é realizado basicamente por três princípios de funcionamento: *Time of Flight (TOF)*, Diferenças de Fase e Time of Flight com apoio da tecnologia WMD (*Wave From Digitizer*), a qual é uma tecnologia empregada pela empresa Leica Geosystems. Tavares (2020) também apresenta as principais características de cada princípio, as quais serão citadas a seguir.

O funcionamento por Time of Flight é possibilitado por meio da presença de um transmissor e de um receptor, responsáveis respectivamente pela emissão e captura dos feixes de luz que irão colidir com o alvo desejado. Durante a realização do processo, são registrados

os tempos de emissão e recepção dos feixes, que servem de base para cálculo da distância, e o ângulo entre o ponto emissor e o objeto em questão. Estes dados serão as fontes para gerar a nuvem de pontos.

Já o princípio baseado nas diferenças de fase funciona com o uso de ondas contínuas com intensidade de laser modulada por ondas sinusoidais ou sinal de onda quadrada.

Por fim, o funcionamento por Time of Flight com apoio da tecnologia WMD (Wave From Digitizer) pode ser definido pela mescla das duas tecnologias descritas anteriormente.

O conhecimento das formas de funcionamento dos equipamentos de varredura a laser é fundamental para a escolha do equipamento mais adequado para determinado objetivo. Conforme apresentado por Tavares (2020), equipamentos baseados na tecnologia “Time of Flight” apresentam maior lentidão, uma vez que um ciclo de medição de um ponto só ocorre após a finalização do anterior. Já aqueles dispositivos que utilizam o princípio da diferença de fase, embora mais velozes, sofrem com limitações de alcance para as medições.

Logo, em um estudo para escolha do tipo de equipamento a ser adotado, além de avaliações referentes ao processo de operação e aos custos de aquisição e implementação, é imprescindível analisar as características da edificação a ser construída e do seu canteiro de obras. Na análise do canteiro de obras, é importante considerar suas dimensões e a forma como o trabalho será executado, visando identificar qual será o maior limitador para a execução processo, as distâncias entre os objetos a serem medidos ou o tempo disponível para realizar as medições.

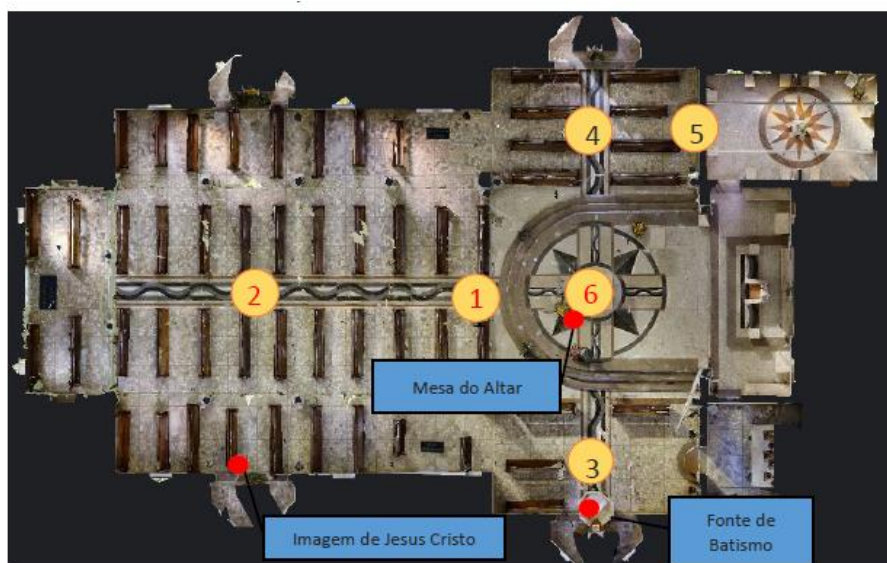
Após compreendido os princípios básicos da tecnologia, pode-se partir para a análise dos potenciais aplicações na implementação na construção civil e os benefícios obtidos. Segundo o relatório da The Boston Group (2016 apud TAVARES, 2020), a varredura a laser tem potencial de aplicação em praticamente quase todas as fases do ciclo de execução de uma construção. Conforme abordado no trabalho de Tavares (2020), essa tecnologia pode ser utilizada nas seguintes aplicações:

- Levantamento de edificação histórica para fins de restauro e preservação patrimonial;
- Levantamento de edificação para fins de atualização do modelo para as-built;
- Levantamento de edificação existente para fins de execução de novas intervenções;
- Levantamento de volume de terra de escavação;
- Mapeamento de fachada para detecção de patologias na execução de revestimentos;

- Mapeamento de planicidade em lajes de concreto moldado in loco;
- Controle de perda incorporada e desvios geométricos em fachada.

A figura 14 apresenta um exemplo de utilização do escaneamento para a criação de modelos digitais.

Figura 14 - Modelo digital obtido por meio de escaneamento a laser



Fonte: Gonçalves (2020)

Com base nos pontos levantados, pode-se observar que além da aplicação de equipamentos a laser para realização mapeamento 3D com objetivo de monitor o avanço físico das atividades presentes no canteiro de obras, a tecnologia aqui analisada apresenta potenciais aplicações na elaboração de planejamento, no controle da qualidade do serviço e na identificação das causas de desvios de planejamento, principalmente relacionados a custos por uso excessivo ou incorreto de materiais.

O estudo realizado por Oliveira, Santos e Lima (2020), demonstra que o escaneamento a laser possibilita obter insumos para tomada de decisão referentes a:

- definição mais assertiva de quantitativos necessários;

- controle dimensional dos serviços executados;
- planejamento da disposição dos equipamentos;
- estruturação do fluxo de pessoas e materiais;
- melhoria do layout do canteiro;
- identificação de patologias e erros construtivos;
- identificação de interferências durante o processo de construção;
- definição do progresso físico da edificação;
- aumento do tempo disponível para realização de análises com maior envolvimento da equipe.

Dentre as aplicações descritas acima, pode-se destacar a aplicação do escaneamento para verificação dos elementos presentes na fachada da edificação com objetivo analisar a qualidade dos serviços. Isso permite identificar equívocos no processo construtivo e fornecer insumos para a análise das causas de tais problemáticas. Conforme abordado por Tavares (2020), as melhorias de controle e acompanhamento geradas pelo escaneamento, como identificação de desvios de prumo geram menos necessidade de uso de revestimentos. Com isso, custos não estipulados são evitados, o que ajudar a preservar os lucros previstos e possibilita a geração de recursos para adoção de inovações.

Com relação a utilização da tecnologia para planejamento das ações dentro do canteiro de obras, pode-se citar o levantamento do volume de terra a ser movimentado. Conforme abordado por Tavares (2020), o levantamento topográfico realizado por equipamento de escaneamento a laser gera um resultado mais completo do que o obtido por levantamento topográfico planimétrico, já que o primeiro registra todos os pontos visíveis ao invés de pontos discretos, como no segundo método. Outro diferencial do escaneamento é a possibilidade de adicionar no modelo as condições de entorno do terreno, como edificações e vegetação existentes, o que permite construir uma base de dados mais completa para elaboração de orçamentos mais precisos, bem como dimensionamento mais eficiente das equipes e identificação dos principais cuidados a serem adotados para uma logística eficiente e segura.

A análise dos exemplos anteriores mostra que dispositivos de escaneamento a laser apresentam uma ampla gama de aplicações além do uso para controle do avanço físico dos serviços. Este fato merece essencial atenção durante a escolha da tecnologia e análise de viabilidade, pois se a empresa estruturar procedimentos de modo a permitir uma

implementação massiva da ferramenta ao longo de todo o processo de controle da produção (PCP), obterá além do aumento da efetividade do planejamento, redução significativa de custos com uso excessivo e inadequado de materiais devido a erros construtivos e planejamentos equivocados.

Além da obtenção dos benefícios listados acima, é possível otimizar o processo de coleta de dados, reduzindo assim, o esforço e custo do processo. O estudo realizado por Oliveira, Santos e Lima (2020) apontou que o processo de levantamento de dados para documentação do status atual da obra apresentou redução de 73% no tempo em relação aos métodos tradicionais.

Em relação ao uso do escaneamento a laser destinado ao acompanhamento e controle da execução dos serviços, foco principal do presente trabalho, a varredura eletrônica para construção de um mapeamento 3D apresenta semelhanças e peculiaridades em relação aos modelos produzidos por meio de fotogrametria.

Conforme já descrito anteriormente, ambos geram modelos de nuvens de pontos, os quais são obtidos por processamento de fotos, no caso da fotogrametria, e por emissões e captura de feixes de luz, no caso da varredura eletrônica por escaneamento a laser. Destaca-se também que ambos requerem softwares para processamento dos dados e exportação da nuvem de pontos em arquivos compatíveis com softwares BIM.

Como principal diferencial entre as tecnologias citadas, destaca-se o nível de detalhamento e de precisão geométrica obtida com o levantamento, maior no processo de escaneamento a laser, ponto imprescindível para definição da ferramenta digital que melhor atente o objetivo do mapeamento. Tavares (2020), por meio de entrevista realizada com Soilbelman, identificou que para situações que não demandam por alto grau de precisão, o processo de obtenção de dados por fotogrametria supre de forma satisfatória as demandas.

Assim como realizado para o mapeamento a laser baseado na fotogrametria, para o processo de obtenção de informações do canteiro de obra por escaneamento a laser, também serão analisados os custos de aquisição dos dispositivos, aplicativos e sistemas necessários para operação, o porte e peso dos aparelhos e o impacto destes fatores durante a operação e os cuidados fundamentais que devem ser tomados pelos profissionais responsáveis pela realização do mapeamento.

Já os processos específicos para utilização de dispositivos de escaneamento serão discutidos no tópico a seguir, com ênfase nos principais requisitos para uma integração efetiva dos novos procedimentos as demais rotinas de gerenciamento da produção adotadas pela empresa.

4.2.2.1 Processos para implementação do mapeamento por escaneamento a laser

Para que seja possível aproveitar todos os benefícios dos dados obtidos com o escaneamento a laser, é indispensável compreender todos os procedimentos necessários para a realização de um levantamento preciso. Tavares (2020) apresenta recomendações para o processo de escaneamento, envolvendo as seguintes etapas:

- Definição de escopo;
- Estruturação do planejamento do processo de levantamento,
- Realização do escaneamento propriamente dito,
- Tratamento dos dados obtidos;
- Vinculação ao modelo BIM para realização das análises.

Na definição do escopo serão delimitados os objetivos a serem atingidos, bem como o compartilhamento destes com todos os profissionais envolvidos. Além disso, deve-se analisar o ambiente que será mapeado com a identificação de interferências que possam prejudicar os resultados. Por fim, é essencial realizar a verificação de compatibilidade entre formatos de arquivos das nuvens de ponto e aqueles aceitos pelos softwares de modelagem e gestão de projetos em BIM.

Na etapa de planejamento é necessário estabelecer o trajeto que será percorrido a fim de abranger todas as regiões que devem ser escaneadas segundo o escopo anteriormente definido, com obtenção de fotos que permitam um percentual adequado de sobreposição das cenas, além da distância mínima de escaneamento requerida para o equipamento escolhido. Outro ponto que requer atenção é o preparo das superfícies que refletem a luz de modo a possibilitar o escaneamento dessas sem erros.

Na realização do escaneamento propriamente dito, deve-se atentar para regiões com acúmulo de água nos locais que serão escaneados, uma vez que isso impedirá o processo, e limitar o acesso de pessoas ou prever a utilização de recursos que permitam a eliminação de

capturas dos movimentos dessas nas fotografias, como por exemplo o processo de escaneamento em “dois passos”. Destaca-se que locais com vibrações e ações de ventos intensos devem ser evitados pois tendem a acarretar em maiores erros nos dados obtidos.

Conforme citado anteriormente, também é necessário avaliar o tempo requerido para o processo de escaneamento, o qual irá variar de acordo com o equipamento adotado. Isso é relevante pois pode ser necessário suspender temporariamente certas atividades para realização da coleta de dados e, caso o tempo de processamento seja muito elevado, pode haver conflitos entre as atividades realizadas e o processo de levantamento, com ocorrência de interrupções e até mesmo acidentes.

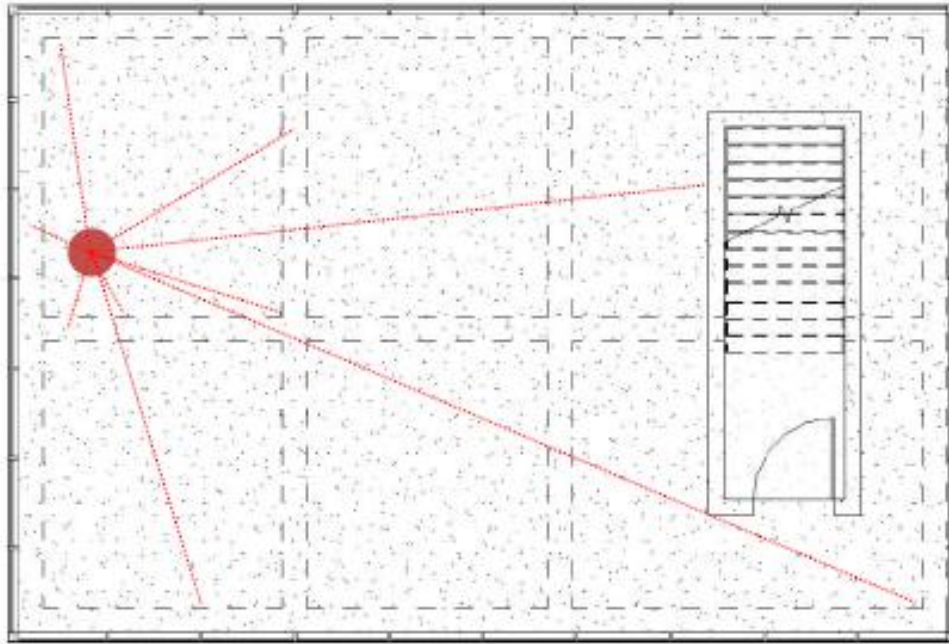
Com o processo de levantamento de dados finalizados, é preciso tratar os insumos obtidos em softwares específicos para que seja possível obter os produtos desejados. Inicialmente, é necessário realizar o carregamento das fotografias para o computador. Após, é procedido o registro das cenas escaneadas a fim de gerar uma nuvem de pontos unificada, seja de forma manual ou automática, com a subdivisão da nuvem de forma adequada a estrutura de planejamento e controle (por pavimento, blocos, etc.).

Segundo Oliveira, Santos e Lima (2020), para gerar uma nuvem de pontos via escaneamento a laser é necessário:

- Planejar as cenas de varredura a partir da divisão da obra em locais com base no alcance do equipamento e na localização dos pontos de ligação entre as cenas;
- Digitalizar as cenas;
- Realizar o processamento dos dados.

A figura 15 exemplifica um modelo simplificado do planejamento do posicionamento realizado para utilizar o equipamento de escaneamento.

Figura 15 - Modelo simplificado de planejamento para realização do escaneamento a laser



Fonte: Tavares (2020)

Além disso, é essencial ajustar as coordenadas da nuvem de pontos com aquelas presentes nos projetos desenvolvidos em BIM e verificar a precisão da nuvem de pontos por meio da comparação entre as dimensões reais dos objetos (obtidas por meio de medições com uso de trenas, estações totais, etc.) e os valores registrados via levantamento por escaneamento.

Por fim, chega-se ao processo final de vincular o produto gerado no levantamento com os modelos 3D gerados em BIM, no qual o primeiro passo é a conferência da compatibilidade entre as coordenadas do modelo virtual em BIM com as da nuvem de pontos.

A fim de garantir que todas as etapas do mapeamento por escaneamento a laser sejam realizadas de forma correta, Oliveira, Santos e Lima (2020) destacam ser imprescindível treinar a equipe para utilizar o equipamento, uma vez que este possui uso específico, bem como capacitar os responsáveis pela elaboração da nuvem de pontos para que seja possível aproveitar todo seu potencial.

A partir disso, será possível obter dados precisos e iniciar o processo mensuração do progresso físico da construção e análise dos resultados. Para facilitar a análise, é possível

manipular a forma de visualização do modelo gerado, com alterações das vistas e planos de corte de forma semelhante ao realizado durante a modelagem de projetos em softwares BIM.

Oliveira, Santos e Lima (2020) concluem que a implementação da tecnologia fornece bom suporte para a tomada de decisão referente a escolha das melhores alternativas construtivas, controle do avanço físico e da qualidade da obra. Além disso, apresentam que o uso em conjunto com a metodologia BIM tem o potencial de disseminar o processo de implementação do monitoramento via escaneamento a laser.

A seguir serão abordados os equipamentos necessários para executar o processo, com levantamento dos custos envolvidos e benefícios esperados, de forma a possibilitar a análise do potencial de implementação da tecnologia, identificação dos perfis de empresas e tipos empreendimento mais compatíveis com a tecnologia, além da comparação entre as vantagens e desvantagens das tecnologias de mapeamento 3D para acompanhamento do progresso físico de obras apresentadas no presente trabalho.

4.2.2.2 Equipamentos disponíveis para a realização do monitoramento

A fim de entender com maior grau de detalhamento as características de funcionamento e custos relacionados a aplicação da tecnologia de mapeamento por escaneamento a laser, o presente trabalho buscou informações sobre o modelo de “Laser Scanner” BLK 360.

Segundo a GeoSurvey Tecnologias (2022), distribuidora do produto, o equipamento permite a captura de imagens panorâmicas com possibilidade de sobreposição dessas para elaboração de nuvem de pontos de alta precisão. O equipamento funciona em conjunto com o aplicativo ReCap Pro e um tablet.

4.2.2.3 Custos para aquisição dos equipamentos

No período da realização do estudo, o valor requerido para aquisição do modelo apresentado, segundo a GeoSurvey Tecnologias, é de R\$ 221.000,00.

4.2.2.4 Procedimentos necessários para a operação dos equipamentos

De acordo com a GeoSurvey Tecnologias (2022) a integração entre o equipamento de escaneamento e o tablet ocorre via o aplicativo ReCap Pro, o qual registra os dados, filtra e os transmite para o tablet. Além disso, o aplicativo permite transferência de dados no formato de nuvem de pontos para softwares CAD, BIM e de realidade aumentada (VR).

Dentre as especificações técnicas do equipamento destacam-se:

- Peso de 1 Kg;
- Tempo para digitalização em torno de 3 minutos;
- Geração de imagens esféricas com 150 MP;
- Capacidade de armazenamento interna de 32 GB;
- 360.000 pontos de escaneamento por segundo.

A figura 16 apresenta uma representação do equipamento e de seus componentes.

Figura 16 - Representação do equipamento de escaneamento a laser modelo BLK 360



Fonte: Leica Geosystems AG (2021)

A fim de aprimorar os conhecimentos sobre as funcionalidades do equipamento, bem como nortear a utilização adequada da ferramenta para a obtenção de bons resultados, será analisado o manual de instruções do “Laser Scanner” BLK 360.

Inicialmente é importante ter o conhecimento sobre os tipos de mensagens de aviso presentes no aparelho e quais cuidados cada uma delas requer. As mensagens são codificadas por cores e apresentam os seguintes grupos:

- Perigo (vermelho) → indica perigo iminente que representa risco de lesões graves e até mesmo possibilidade de morte;
- Atenção (laranja) → situação potencialmente perigosa que representa risco de lesões graves e até morte;
- Cuidado (amarelo) → situação potencialmente perigosa que representa risco de lesões pequenas ou moderadas;
- Aviso (azul) → indicação de uso não premeditado com possibilidade de danos materiais, financeiros e ao meio ambiente;
- Demais mensagens: podem surgir mensagens com informações relevantes sobre a forma correta e eficiente de utilização do equipamento.

Com relação as funcionalidades dos equipamentos, pode-se destacar a medição de ângulos horizontais e verticais, distâncias, captura e gravação de imagens, registro das medições, além de intercâmbio de dados com dispositivos móveis.

Destaca-se que o uso do aparelho não é indicado para ambientes agressivos ou explosivos. Deve-se também atentar-se para áreas próximas de instalações elétricas, tomando precauções, como contar com especialistas em segurança e contatar as autoridades responsáveis antes da execução do trabalho.

Como exemplo de situações de riscos que demandam atenção podem-se citar:

- acidentes com obstáculos, escavações ou trânsito devido a perda de atenção do usuário;
- falhas de segurança em locais com trânsito, instalações industriais e em construção;
- exposição das baterias a alto estresse mecânico, altas temperaturas ou imersão em fluidos, fatores que podem ocasionar incêndios e explosões;
- contato dos terminais da bateria, com potencial chance de curto-circuito e incêndios;
- queda de raios, não sendo recomendado a utilização na presença de tempestade;

- acidentes devido à realização de reparos por pessoas não capacitadas;
- ocorrência de choques elétricos devido a utilização em locais extremamente úmidos.

Embora representem riscos de menor impacto, cuidados com o manuseio e movimentação do equipamento são essenciais a fim de evitar lesões nos operadores e danificações no aparelho. Além dos fatores já explicitados, o armazenamento e a modificação inadequados podem ocasionar medições incorretas.

Ao realizar uma análise mais aprofundada sobre o modo de operação, o “Laser BLK360” apresenta um laser incorporado que produz um feixe invisível. Este laser é enquadrado na classe 1, segundo a IEC 60825 (2014-05), sendo assim, não requer capa de proteção contra o laser, óculos de proteção e placas de alerta para as áreas de utilização.

Durante o processo de obtenção de dados, é imprescindível atentar-se para o estado do dispositivo, no qual, por meio do LED, é possível identificar se o laser está ligado, gravando as informações ou em processo de desligamento. Ademais, é permitido identificar a capacidade da bateria e o status de atualização do firmware.

A fim de permitir a correta utilização das tecnologias, com a obtenção de bons resultados e a garantia da segurança de todos os envolvidos, é essencial conhecer o passo a passo da operação dos equipamentos. Ao analisar o manual do BLK 360, identificou-se que os procedimentos são os seguintes:

- Instalação do suporte:
 - Realizar instalação no suporte ou tripé adequado, buscando um posicionamento que garanta uma postura confortável para o trabalho;
 - Evitar exposição do instrumento a luz solar direta e temperaturas variáveis ao redor desse.
- Instalação do BLK 360:
 - Abrir a cobertura do BLK 360 e colocar o dispositivo na placa inferior, a qual deve ter sido girada em 180°;
- Definição da utilização do equipamento de forma independente ou associada a outro dispositivo:
 - Para uso independente, o LED deve apresentar a coloração verde de forma contínua, com transmissão dos dados iniciando quando houver conexão a um dispositivo. Destaca-se que o BLK não deve ser tocado nem movido durante o processo de gravação;

- Quando houver associação de um dispositivo além do BLK 360, deve ser realizada a conexão via Wi-Fi, com posterior inserção da senha presente na etiqueta do compartimento da bateria. Após isso, o aplicativo deve ser iniciado para finalização da conexão com o instrumento.
- Execução do Escaneamento
 - Avaliar condições ambientais e realizar ações corretivas e mitigadoras necessárias:
 - Em superfícies desfavoráveis como superfícies altamente refletivas (metal polido), absorvente (preto) ou translúcidas (vidro) é possível realizar pintura, pulverização ou colocação de adesivos em tais superfícies;
 - Evitar condições climáticas desfavoráveis, como por exemplo, chuvas, nevoeiro ou presença de iluminação direta do sol, uma vez que prejudicam a qualidade e precisão do escaneamento;
 - Evitar mudanças brusca de temperatura entre os ambientes.
 - Não deixar poeira, resíduos ou impressões digitais no vidro de proteção do espelho rotativo a fim de não ocasionar falta de pontos no escaneamento.
 - Atenta-se para o campo de visão do laser:
 - Campo de visão vertical: 300°;
 - Campo de visão horizontal: 360°.
- Transferência de dados:
 - A transmissão pode ser realizada tanto para um tablet, como para um computador.

4.2.2.5 Software para processamento de imagens

Assim como realizado para os softwares de modelagem de projetos, elaboração do planejamento e processamento de imagens para elaboração de representações dos modelos físicos reais via nuvens de pontos com base em dados obtidos pela fotogrametria, o estudo analisará o software ReCap Pro para processamento de dados obtidos por escaneamento a laser. Os custos aqui mensurados também terão papel importante na análise dos investimentos, bem como para comparar os valores requeridos para cada ferramenta apresentada neste estudo.

A versão do ReCap Pro apresenta licenças que se diferenciam em relação tempo de duração. As licenças atuais disponíveis são: licença mensal, de 1 ano e de 3 anos. Os custos de cada uma dessas são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3 - Custos de aquisição do software ReCap Pro

Duração da Licença	Custo em 3 anos (R\$)	Custo ao ano (R\$)	Custo ao mês (R\$)
3 anos	R\$ 4.257,00	R\$ 1.419,00	R\$ 118,25
1 ano	R\$ 4.467,00	R\$ 1.489,00	R\$ 124,08
Mensal	R\$ 6.444,00	R\$ 2.148,00	R\$ 179,00

Fonte: Autodesk (2022)

Com base na análise dos valores e características das licenças disponíveis para utilização do ReCap Pro, conclui-se que a licença com duração de 3 anos é a mais vantajosa economicamente, além de garantir a utilização da ferramenta por um período considerável de tempo, o qual é compatível com o período de execução padrão da maioria dos empreendimentos.

Além disso, a comparar o custo requerido para o ReCap Pro frente ao Agisoft Metashape fica nítido que o primeiro requer um investimento bem menor, fato que auxilia na implementação da tecnologia de escaneamento a laser, já que o dispositivo principal demanda um alto investimento e reduzir custos com as ferramentas complementares permite acumular recursos para a compra do equipamento.

Vale destacar que a licença do Agisoft Metshape é definitiva, logo para um período de utilização maior que 12 anos, o Agisoft Metshape torna-se mais econômico. Porém, como trata-se da implementação de uma nova ferramenta, a qual requer validação dentro da rotina de cada empresa, é prudente pensar em prazos menores para avaliar a efetividade da tecnologia adotada, para posteriormente adquirir de licenças de softwares para períodos mais longos de tempo.

4.2.2.6 Análise do processo

Ao analisar as características do processo de implementação da tecnologia de escaneamento a laser por varredura eletrônica e comparar com os pontos apresentados

referentes a tecnologias pautadas na fotogrametria para realização de mapeamentos 3D, nota-se que ambas apresentam similaridades. Entretanto, há pontos que as diferenciam, os quais apresentam alto impacto na definição do equipamento a ser implementado para cada situação.

Sobre o processo de operação, o escaneamento por varredura eletrônica apresenta requisitos para obtenção de bons resultados semelhantes a fotogrametria, destacando-se a necessidade de um bom planejamento referente aos locais onde irão ocorrer captura das cenas que servirão de insumo para elaboração da nuvem de pontos. A capacitação da equipe para operar o equipamento e manipular os dados resultantes, assim como no mapeamento por fotogrametria, é essencial gerar um fluxo contínuo de informações e garantir a qualidade dos dados obtidos.

Entretanto, destaca-se que o plano para captura dos dados é diferente devido as peculiaridades de cada ferramenta, como exemplo, no escaneamento a laser, onde é necessário identificar superfícies que refletem a luz e prepara-las adequadamente de acordo com o material para que não ocorram erros durante as medições, além de considerar o tempo de captura e processamento das cenas de cada equipamento, para que esse não seja demasiadamente longo a ponto de provocar a interrupções de serviços no local.

Outra diferença é em relação aos empecilhos que podem atrapalhar a execução dos levantamentos, com redução da qualidade dos dados ou interrupção do processo devido a ocorrência de vibrações, movimentações de pessoas, presença de água sobre os elementos e condições climáticas adversas. Destaca-se também a possibilidade de riscos associados a utilização e transporte do equipamento em situações como trabalho em altura, locais próximos a maquinários pesados e a presença de desníveis.

Com relação aos pontos fortes da ferramenta, assim como o mapeamento por fotogrametria, o escaneamento a laser também proporciona a redução no tempo necessário para coleta de dados e um aumento da precisão das informações

Como diferencias positivos do monitoramento por escaneamento a laser, pode-se destacar a maior precisão e grau de detalhamento dos dados, fato que amplia o campo de aplicação, como por exemplo levantamento de quantitativos, obtenção de insumos para otimização de layout, identificação de erros construtivos e patologias. Ademais, devido as características dos modelos de equipamento de escaneamento a laser, é possível realizar mapeamentos de áreas internas com maior facilidade.

Diante disso, por ser uma tecnologia mais complexa, como maior grau de detalhamento permitido e de maior investimento, o escaneamento por varredura eletrônica não se mostra o mais indicado para introduzir novas metodologias de acompanhamento e controle da produção, principalmente em situações em que as rotinas gerenciais não contemplem os processos requeridos para integração dos dados obtidos com as ferramentas digitais e o uso da metodologia BIM seja inexistente ou pouco consolidado. Isso é extremamente relevante, pois, para obter todos os potenciais benefícios da ferramenta, é necessário que o processo de levantamento de dados e análise possa ser incorporado a rotina da empresa de forma orgânica com boa participação de todos os membros.

Já para construções que já apresentem processo consolidados que englobem fatores como a metodologia BIM, técnicas de planejamento integradas ao BIM e demandem por um controle mais minucioso dos elementos construídos, o uso do escaneamento por varredura eletrônica apresenta grande aplicabilidade e potencial de gerar ganhos financeiros e de qualidade.

4.2.3 Mapeamento por varredura 3D de baixa complexidade

O mapeamento 3D de baixa complexidade, realizado com uso de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, tem como objetivo de obter insumos sobre o progresso dos serviços para o acompanhamento de forma semelhante as tecnologias abordadas anteriormente, porém de forma mais acessível.

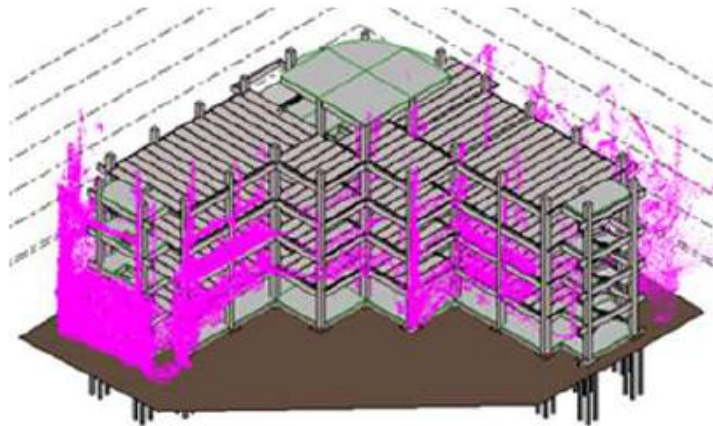
Conforme apresentado por Souza (2020), pode-se observar um distanciamento entre a área de elaboração dos projetos e a área da linha de produção com uso de tecnologia de informação em estágios iniciais. Conforme discutido anteriormente pelo presente trabalho, isso torna o planejamento mais impreciso e de difícil compreensão.

Diante desta problemática, Souza (2020) afirma que é imprescindível estabelecer mecanismos para que o sistema de informações consiga ser aplicado com qualidade.

Como alternativa, tem-se o mapeamento por varredura 3D, que busca além de possibilitar uma coleta de dados automatizada e menos propensa a erros, permitir a evolução da gestão visual das informações relacionadas ao desenvolvimento das atividades executadas no canteiro de obras.

A figura 17 demonstra um modelo digital obtido pelo mapeamento 3D de baixa complexidade sobreposto a um modelo virtual desenvolvido com uso da metodologia BIM, possibilitando a identificação dos serviços já executados em determinada data.

Figura 17 - Modelo digital obtido por meio de escaneamento a laser



Fonte: Souza (2020)

4.2.3.1 Processo para implementação do mapeamento de baixa complexidade

Em relação ao processo para obtenção de dados, Greotelaars (2015, apud SOUZA, 2020), apresenta os seguintes procedimentos e cuidados a serem realizados:

- Registrar todos os pontos estabelecidos por meio de duas ou três fotos, garantindo a qualidade, resolução e angulação adequadas;
- Obter medidas de referências dos elementos para a obtenção da escala do modelo. As medidas podem ser obtidas por meio de trena ou estação total por exemplo.
- Ajustar os parâmetros internos da câmera, como distância focal, localização do ponto principal e resolução da imagem. Para isso, é necessário atentar-se para as informações fornecidas pelo fabricante;
- Configurar a orientação externa para o mapeamento, por meio de pontos homólogos entre as imagens. Isso ocorre com a intersecção de pontos e permite determinar as

coordenadas tridimensionais. Com o ajuste da escala é possível elaborar um modelo preliminar;

- Incluir informações complementares, como características da superfície e texturas de elementos, de modo a gerar um modelo geométrico;
- Exportar a nuvem de pontos.

Souza (2020) ainda relata a importância de avaliar a nuvem de pontos obtida, analisando se tal apresenta resolução espacial e precisão adequadas. Para isso, um objeto específico é escolhido, então é observado se este pode ser identificado com qualidade compatível a exigida. Outro ponto de atenção, segundo Souza (2020) é a necessidade de realizar uma limpeza e tratamento dos dados da nuvem de pontos, já que isso é um processo demorado.

Entretanto, este processo apresenta diferenças consideráveis em relação as demais ferramentas digitais analisadas, fatores que demandam devida atenção, uma vez que impactam nos recursos necessários para implementação e nas possibilidades de utilização.

Dentre as principais diferenças entre os métodos, destacam-se os custos dos equipamentos utilizados, o porte dos equipamentos, as características de operação e transporte e o nível de detalhamento dos produtos gerados. Tais fatores serão analisados a seguir.

4.2.3.2 Equipamentos disponíveis para realização do monitoramento

Para obtenção das imagens necessárias para construção do mapeamento por fotogrametria, Souza (2020) apresenta a possibilidade de utilizar dispositivos móveis, como por exemplo, Galaxy N8, Galaxy N10, XIAOMI N6, IPAD 6. Entretanto, destaca-se que demais dispositivos que apresentem qualidade de fotografia semelhantes com os apresentados anteriormente também podem ser incorporados, principalmente se os membros responsáveis por executar o processo já possuem tais equipamentos, eliminando a necessidade de compra.

4.2.3.3 Custos para aquisição dos equipamentos

O custo dos equipamentos é uma das principais diferenças entre as ferramentas destinadas a obtenção de dados do canteiro de obras. Isso ocorre pela possibilidade da utilização de smartphones com qualidade de fotografia similar à de câmeras profissionais, porém com preços de aquisição inferiores, conforme aponta Souza (2020).

Para levantamento dos custos, buscou-se os valores dos aparelhos apresentados no trabalho de Souza (2020), sendo esse: Galaxy N8, Galaxy N10, XIAOMI N6, IPAD. A tabela a seguir apresenta os valores aproximados para aquisição dos dispositivos, segundo as lojas da Amazon e da Americanas, na data de elaboração do presente trabalho:

Tabela 4 - Custos de dispositivos móveis utilizados para fotogrametria de baixa complexidade

Dispositivo	Custo
Galaxy N8	R\$ 1.858,75
Galaxy N10	R\$ 3.199,00
Xiaomi N6	R\$ 1.449,96
IPAD 6	R\$ 2.118,90

Fonte: Amazon e Americanas (2022)

Ao analisar as quantias monetárias, percebe-se claramente que são valores bem inferiores aos requeridos para compra de VANT's, até mesmo aqueles equipamentos mais básicos, e principalmente para equipamentos de varredura a laser.

4.2.3.4 Procedimentos necessários para operação dos equipamentos

Devido ao método de mapeamento 3D de baixa complexidade possibilitar a utilização de celulares para a obtenção das imagens necessárias para a construção da nuvem de pontos, não há grandes peculiaridades para operar tais dispositivos, uma vez que tais já estão incorporados a rotina da maioria dos integrantes do contexto da construção civil. Entretanto, os cuidados para obter uma boa cobertura da área a ser mapeada por meio de um acervo fotográfico que permita boa sobreposição das cenas é essencial.

4.2.3.5 Software para processamento de imagens

Para transformar os dados obtidos pelas fotografias em modelos virtuais do tipo nuvem de pontos, assim como na fotogrametria, é necessário realizar o processamento das imagens com auxílio de softwares específicos. Com base no trabalho de Souza (2020), dentre os softwares disponíveis para realizar isso, pode-se destacar o Autodesk ReCap Photo, serviço disponível dentro do software ReCap Pro, e o Agisoft Metashape, ambos analisados anteriormente nos processos de implementação por escaneamento a laser e por fotogrametria respectivamente.

Como um dos principais diferenciais da varredura 3D de baixa complexidade é o menor investimento frente as demais tecnologias abordadas neste estudo, o ReCap Pro, por possuir um valor de aquisição menor a médio prazo, apresenta-se uma boa opção. Entretanto, vale a mesma ressalva sobre períodos de utilização maiores que 12 anos, no qual o Agisoft Metashape apresenta um melhor custo benefício.

4.2.3.6 Análise dos processos

Ao analisar todos os pontos discutidos pelo trabalho, percebe-se que a tecnologia apresenta processos de implementação e operação semelhantes as demais analisadas, principalmente em relação ao mapeamento por fotogrametria apoiada com o uso de VANT's. Dentre as principais semelhanças está o processo de elaboração do planejamento, com a necessidade de alinhar a forma de modelagem dos projetos, estrutura do planejamento e forma de obtenção dos dados do acompanhamento.

Além disso, a obtenção das fotografias, insumo principal para elaborar a nuvem de pontos, também possui similaridades, destacando-se a necessidade de obtenção de imagens com qualidade e resolução adequadas, garantindo sobreposição adequada das cenas, fato que requer um bom planejamento da área a ser mapeada.

Entretanto, destaca-se a necessidade de se obter medidas de referência para objetos por métodos tradicionais, como medições via trena, fato que atribui um caráter manual para a medição, prejudicando a agilidade do processo e gerando possibilidade de erros durante a obtenção de dados.

Outro fator de extrema relevância para a análise são os custos para aquisição dos equipamentos e softwares necessários. Com base no presente estudo, pode-se concluir que os softwares necessários são similares aos requeridos para as demais tecnologias. Ademais, boa parcela desses também fazem parte de processos de elaboração de projetos e planejamento, fazendo com que, possivelmente, já estejam incorporadas as rotinas das empresas, ou apresentem forte tendência de implementação devido as demandas do mercado. Logo, o investimento necessário pode ser menor que o estipulado, além de gerar benefícios em outras áreas, como no setor de projetos e de orçamentação, graças a adoção da metodologia BIM.

Já os dispositivos móveis, principal ferramenta para realizar o monitoramento, apresentam valores para aquisição inferiores aos VANT's e principalmente em relação a equipamentos destinados ao escaneamento a laser. Isso se constitui em um grande diferencial, uma vez que facilita a adoção desta ferramenta, até mesmo em empresas de menor porte.

Porém, é essencial considerar o grau de detalhamento oferecido pelo mapeamento 3D via dispositivos móveis. Por meio da análise dos estudos já realizados, pode-se concluir que o grau de detalhamento possibilitado é menor, principalmente quando comparado ao escaneamento a laser, o que impossibilita a utilização da ferramenta para atividades mais complexas, como identificação de erros nos processos construtivos, documentação de “as built” e controle dimensional preciso de serviços executados.

Com base nisso, conclui-se que o mapeamento 3D de baixa complexidade realizado por meio de dispositivos móveis tem grande potencial de aplicação como forma de introduzir novas tecnologias no processo de acompanhamento da produção destinadas a obtenção de benefícios como automatização do processo, maior precisão dos dados mensurados e melhoria na gestão visual, facilitando a comunicação com as equipes responsáveis pela realização dos serviços.

Por fim, destaca-se que, por ter processos semelhantes as demais ferramentas digitais, a implementação do mapeamento 3D de baixa complexidade criará uma base sólida para implementar tecnologias mais complexas ao longo do tempo, as quais permitirão elevar a qualidade dos resultados com menores riscos de falha durante o processo de implementação devido a existência de processos de gestão consolidados e compatíveis com as peculiaridades das ferramentas digitais.

5 CONCLUSÃO

A análise de todas as tecnologias abordadas no presente trabalho possibilitou identificar os principais requisitos para introduzir novas ferramentas no ambiente da construção civil.

Independente da tecnologia analisada, pode-se concluir que existem procedimentos prévios à utilização dos equipamentos propriamente ditos que devem ser adotados para que seja possível aproveitar todos os recursos e benefícios de cada tecnologia. Dentre esses, compatibilizar o formato das informações presentes nos projetos e planejamentos com os insumos obtidos com os novos formatos de medição é essencial, visto que, só assim é possível atualizar os indicadores de forma ágil e correta e estabelecer uma base de dados sólida para realizar as análises.

Para que a referida compatibilização ocorra, notou-se que deve ocorrer uma integração entre os responsáveis de todos os setores envolvidos, de modo que seja possível definir os parâmetros de cada entregável referentes às etapas de elaboração de projetos e construção de planejamentos. Isso pode ser obtido pelo estabelecimento de uma rotina de reuniões com periodicidade e pautas bem estruturadas. Logo, é evidente que a construção de processos que permitam a construção de um fluxo de informações e de comunicação eficiente é a chave para consolidar uma base que permita o bom aproveitamento das tecnologias estudadas.

Ademais, para que o processo possa ser executado de maneira adequada e que as informações requeridas possuam a qualidade necessárias, a capacitação dos membros com relação aos softwares que integram o processo apresenta grande relevância.

O processo de coleta de dados, que é determinante para alcançar os benefícios propostas pelas ferramentas digitais, apresenta características marcantes. Com base nos estudos analisados pelo presente trabalho, bem como dos manuais dos equipamentos utilizados para obtenção dos dados, fica claro que um planejamento bem estruturado sobre os locais que serão mapeados é fundamental para garantir a qualidade dos resultados obtidos, pois permitirá otimizar o processo, identificar empecilhos que podem diminuir a precisão do produto final, reduzir retrabalhos referentes a erros no mapeamento e evitar acidentes pela má utilização dos dispositivos.

Com relação a operação dos equipamentos, como VANT's, equipamentos de escaneamento a laser e dispositivos móveis, a partir da análise dos manuais de cada equipamento, foi possível perceber que para operar com segurança e eficiência todos os dispositivos, é importante atentar-se para peculiaridades dos comandos e aplicativos necessários para obtenção e transferência de dados. Para isso, a realização de testes e a adoção de protocolos para orientar o manuseio dos equipamentos é altamente relevante.

Já sobre os investimentos, foi possível perceber que existem diferentes faixas de valores, de acordo com a maior ou menor gama de funcionalidades e aplicações disponíveis. Isso amplia as possibilidades de implementação, sendo possível adotar as tecnologias estudadas em empresas de portes diferentes, com a possibilidade de evoluir gradativamente o grau de complexidade dessas conforme a maturidade da empresa sobre o assunto.

Em conclusão, implementar novas tecnologias no ambiente da construção civil, além de benéfico, é quase inevitável frente às novas exigências do mercado. Para isso ser possível, é necessário conhecer bem a realidade da empresa para adotar a ferramenta que melhor se adeque, estruturar processos para integrar às novas tecnologias as rotinas gerenciais e estabelecer uma cultura de conscientização e valorização destas inovações a fim de combater eventuais rejeições prévias que possam existir. Mais do que possuir o equipamento mais moderno e equipado, o sucesso das ferramentas depende de processos bem estabelecidos, pessoas bem capacitadas e de um ambiente que possibilite o bom uso das informações coletadas.

Por fim, sugere-se a realização de trabalhos futuros focados na implementação das tecnologias apresentadas pelo presente trabalho, com destaque para o mapeamento de baixa complexidade com uso de dispositivos móveis devido ao seu menor custo, com a análise da efetividade dos processos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTODESK. **Software REVIT 2023.** 2022. Disponível em < <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> >. Acesso em 18 jul. 2022.
- AUTODESK. **Software NavisWorks Menage.** 2022. Disponível em < <https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/overview?term=1YEAR&tab=subscription&plc=NAVMAN> >. Acesso em 18 jul. 2022.
- AUTODESK. **Software ReCap Pro.** 2022. Disponível em < https://www.autodesk.com.br/products/recap/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=2c1f4c12-2c22-436a-9bee-f3347a322da2&us_st=ReCap&us_pt=RECAPPRODUCTS&term=1YEAR&tab=subscription&plc=RECAP >. Acesso em 22 jul. 2022.
- MODELISMOBH. **Custos de Drones compatíveis com mapeamento aéreo.** 2022. Disponível em < <https://www.modelismobh.com.br/modelos-de-drones/drone-para-mapeamento-aereo> >. Acesso em 10 mai. 2022.
- MODELISMOBH. **Agisoft Metashape.** 2022. Disponível em < <https://www.modelismobh.com.br/software> >. Acesso em 10 mai. 2022.
- MODELISMOBH. **Registros Legais.** 2022. Disponível em < <https://www.modelismobh.com.br/cadastro-drone-dji-anac-decea-e-seguros> >. Acesso em 10 mai. 2022.
- HOTMART. **Coordenação de obras com NavisWorks.** 2022. Disponível em < https://hotmart.com/ptbr/marketplace/produtos/calculistanota10/U47017010L?sck=HOTMART_SITE&search=b7edceda-67c4-40c3-a0e8-2812267639d5 >. Acesso em 22 jul. 2022.
- HOTMART. **BIM Leader.** 2022. Disponível em < https://hotmart.com/ptbr/marketplace/produtos/bimconcept/K23421819X?sck=HOTMART_SITE&search=5b6f12c2-d63a-4b5c-a2b5-836f8c91c9e2 >. 2022. Acesso em 22 jul. 2022.
- IMPLANTA BIM. **Revit para Engenheiros 5.1.** 2022. Disponível em < https://cursos.implantabim.com.br/revitparaengenheiros?ref=H619004590&gclid=Cj0KCQjwxb2XBhDBARIsAOjDZ35zCuyZJHXkruZPgbJliV2xOe_Np6WD02hu2hMwiDRLcesPgbV9RhgaAsnZEALw_wcB >. 2022. Acesso em 22 jul. 2022.

MAPPA. **Drones compatíveis com mapeamento aéreo.** 2022. Disponível em < <https://mappa.ag/materiais/> > Acesso em 12 jun. 2022.

FLY PRO. **Custos de Drones compatíveis com mapeamento aéreo.** 2022. Disponível em < <https://www.flypro.com.br/mavic/drones-e-kits> >. Acesso em 10 mai. 2022.

DJI. **Manual de instrução DJI Mini 2.** 2021. Disponível em < https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_PT.pdf >. Acesso em 02 ago. 2022.

LEYCA GEOSYSTEMS. **Manual de instrução Leica BLK 360.** 2021. Disponível < <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk360/manuals-and-support-documents> >. 2021. Acesso em 02 ago, 2022.

BIM FORUM. **LOD Spec 2019.** 2019. Disponível em < https://bimforum.org/wp-content/uploads/2022/02/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf >. Acesso em 10 jun. 2022.

ADERLE, A. E. **Análise do processo de modelagem 5D (BIM): Estudo de caso de uma residência unifamiliar.** Florianópolis, 2017.

ÁLVARES, S. J. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4F.** Salvador, 2019.

GONÇALES, R. **Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis.** São Paulo, 2007.

TAVARES, R. E. **Escaneamento a laser em edifícios na etapa da construção para modelos da informação: processo, aplicações e recomendações.** São Paulo, 2020.

TORES, M. F. **Montagem e avaliação de um sistema de varredura a LASER embarcado em VANT,** Presidente Prudente, 2016.

VARGAS, B. F. **Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM.** Porto Alegre, 2018.

SOUZA, P. R. **Varredura 3D de baixa complexidade com uso de dispositivos móveis para apoio ao acompanhamento de obra.** São Leopoldo, 2020.

SABINO, B. J. **Projetos de gestão na construção civil: Análise crítica.** Belo Horizonte, 2016.

- LÁZARO, A. M. P. **Gestão da informação na construção – Aplicação de ferramentas colaborativas no desenvolvimento de projectos de construção.** Porto, 2010.
- GAYER, D. B. **Avaliação do grau de inovação aplicado ao setor da construção civil em Porto Alegre.** Porto Alegre, 2016.
- ZACKO, A.; ANTUNES, P. G. E. **Análise de fatores que interferem na produtividade da construção civil.** Criciúma, 2019.
- BIGNOTO, C. C. **A realidade virtual no plano de implementação BIM.** Belo Horizonte, 2019.
- OLIVEIRA, R. P. K.; SANTOS, G. D.; LIMA, A. S.; **Levantamento de dados através de escaneamento 3D: Aplicação na reforma da unidade de um órgão público federal.** XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2020.
- NETO, S. V. E.; MARACAJÁ, F. **Mapeamento de desperdícios na construção civil: Estudo de caso de uma construtora.** João Pessoa, 2018.
- GARCIA, A.; GABALDE, B.; BORGES, G.; BRUZA, M.; SANTOS, E.; COREA, F. **Aplicação de gémeos virtuais na indústria da construção – Estado da arte.** 4º Congresso português de *Building Information Modelling*, São Paulo, 2022.
- COELHO, C. L.; BRITO, N, J. **Fotogrametria digital.** 1 ed. Rio de Janeiro: Editora EdUERJ, 2007.
- FERNANDES, F. C. F.; FILHO, G. M. **Planejamento e controle da produção: Dos fundamentos ao Essencial.** 1 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.
- MATTO, D. A. **Planejamento e Controle de Obras.** 1 ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2010.
- SOUZA, L. E. U. **Como Aumentar a Eficiência da Mão-de-obra.** 1 ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2006.
- BOTELHO, C. W. **A inovação tecnologia na construção civil de edifícios e a qualificação da mão de obra.** 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.
- GIL, C. A. **Como elabora projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002