

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**



Dissertação de Mestrado

**EXPLORAÇÃO E REFLEXÕES SOBRE O PROCESSO DE DOCUMENTAÇÃO
AS-BUILT COM USO DE BIM E NUVEM DE PONTOS APLICADO EM
EDIFICAÇÕES**

Marco Antonio Mello

Pelotas, 2024

Marco Antonio Mello

**EXPLORAÇÃO E REFLEXÕES SOBRE O PROCESSO DE DOCUMENTAÇÃO AS-
BUILT COM USO DE BIM E NUVEM DE PONTOS APLICADO EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Área de concentração: Arquitetura e Tecnologia.

Orientadora: Prof. Dra. Rafaela Bortolini
Co-orientador: Prof. Dr. Cristhian Moreira Brum

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

M527e Mello, Marco Antonio

Exploração e reflexões sobre o processo de documentação *as-built*, com uso de BIM e nuvem de pontos aplicadas em edificações [recurso eletrônico] / Marco Antonio Mello ; Rafaela Bortolini, orientadora ; Cristhian Moreira Brum, coorientador. — Pelotas, 2024.
147 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Building information modeling. 2. BIM. 3. Documentação as-built. 4. Nuvem de pontos 3D. I. Bortolini, Rafaela, orient. II. Brum, Cristhian Moreira, coorient. III. Título.

CDD 720

Elaborada por Alex Serrano de Almeida CRB: 10/2156

Marco Antonio Mello

Exploração e reflexões sobre o processo de documentação *as-built* com uso de BIM e nuvem de pontos aplicado em edificações.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 22/08/2024

Banca examinadora:

.....
Prof. Dra. Rafaela Bortolini
Doutora em Engenharia de Construção pela (Universitat Politècnica de Catalunya, ES, 2019).

.....
Prof. Dr. Cristhian Moreira Brum
Doutor em Educação Nas Ciências pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, UNIJUI, Brasil, 2019.

.....
Prof. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva
Doutora em Filosofia e Ciências da Educação pela (Universidad de Zaragoza/UNIZAR, ES, 2001)

.....
Profa. Dra. Daniela Dietz Viana
Doutora em Engenharia Civil (2015), pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), doutorado sanduíche pela Universidade da Califórnia, em Berkeley.

Aos meus pais.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar um agradecimento especial à minha orientadora, Profa. Dra. Rafaela Bortolini. Ela me guiou nos últimos anos, com dedicação admirável, abrindo caminhos em áreas relevantes de pesquisas como o uso das tecnologias voltadas para o desenvolvimento de projetos. Seu apoio foi essencial para minha jornada.

Um agradecimento particular ao Prof. Dr. Cristhian Brum, que desde o início compartilhou prontamente seu conhecimento, não apenas comigo, mas com todos os colegas que ingressaram em 2021/1. Sua disponibilidade e amizade foram aspectos marcantes na minha trajetória.

Agradeço aos meus pais que sempre investiram em minha educação, e formam a base sólida sobre a qual posso pavimentar meu caminho. Ao amigo Eng. Máximo Gutierrez, um agradecimento pelo suporte para me estabelecer em Pelotas, além da experiência profissional que tive a oportunidade de adquirir. Ao Fabrício e o Davi, amigos que fiz no decorrer de 2022, com quem pude compartilhar e conviver, sempre guardarei comigo.

Ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (PROGRAU), pelos incentivos ao longo do mestrado. Aos professores, colegas com quem tive oportunidade de aprender, e evoluir. Experiências únicas de crescimento, superação, continuidades, tornaram o ambiente acadêmico um meio vigoroso, que aprecio muito.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio através da bolsa de estudo, recurso fundamental para a realização deste trabalho, indispensável para o progresso de pesquisas do nosso país.

***“É justamente a possibilidade de realizar um sonho, que torna a vida interessante”
Paulo Coelho.***

RESUMO

Nos últimos anos, a adoção da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) vem se estabelecendo no setor da arquitetura, engenharia, construção e operações (AECO). Isso é resultado das inúmeras vantagens que essa tecnologia oferece em diferentes estágios do ciclo de vida das edificações, como, por exemplo, auxiliar no registro de dados confiáveis e permitir a colaboração em projetos. Apesar desses avanços, ainda é comum que abordagens tradicionais de entregas de projetos não forneçam a documentação completa no final da construção, ou que atividades operacionais, como o levantamento de dados, envolvam a transferência manual das informações obtidas. Isto pode provocar um aumento na duração dos levantamentos *in loco*, bem como em uma maior propensão a erros entre a transferência de medições e a interpretação da informação obtida. Algumas pesquisas, tem explorado técnicas de digitalização 3D, e o uso de BIM para documentação *as-built*, demonstrando ser fundamental para usuários finais e outros participantes interessados na construção. No entanto, ainda é um assunto pouco explorado na literatura. O objetivo deste trabalho é propor diretrizes para otimizar o processo de trabalho da documentação *as-built* utilizando BIM e nuvem de pontos. Como estrutura para o desenvolvimento do trabalho, a metodologia adotada é a *Design Science Research* (DSR), pois visa à criação de um artefato para solucionar um problema real. A pesquisa utiliza uma investigação bibliográfica para reconhecer principais problemas ao longo do fluxo de trabalho, além de aplicação prática mediante estudos de casos, ao longo das fases de documentação *as-built*.

Palavras-chave: *Building Information Modeling*; BIM; documentação *as-built*; nuvem de pontos 3D.

ABSTRACT

In recent years, the adoption of Building Information Modeling (BIM) technology has been gaining ground in the architecture, engineering, construction and operations (AECO) sector. This is a result of the numerous advantages that this technology offers at different stages of the building life cycle, such as assisting in the recording of reliable data and enabling collaboration on projects. Despite these advances, it is still common for traditional approaches to project delivery to not provide complete documentation at the end of construction, or for operational activities, such as data collection, to involve the manual transfer of the information obtained. This can lead to an increase in the duration of on-site surveys, as well as a greater propensity for errors between the transfer of measurements and the interpretation of the information obtained. Some research has explored 3D scanning techniques and the use of BIM for as-built documentation, demonstrating that it is essential for end users and other stakeholders in construction. However, it is still a subject little explored in the literature. The objective of this work is to propose guidelines to optimize the as-built documentation work process using BIM and point clouds. As a framework for the development of the work, the methodology adopted is Design Science Research (DSR), as it aims to create an artifact to solve a real problem. The research uses bibliographical research to identify the main problems throughout the workflow, in addition to practical application through case studies, throughout the as-built documentation phases.

Keywords: *Building Information Modeling; BIM; As-built documentation; Point cloud 3D.*

Lista de Figuras

Figura 1	Nuvem de pontos <i>as-built</i> . Fotografia visualizada sobreposta a nuvem de pontos.	18
Figura 2	(A) diagrama de etapas e; (B) Modelo 3D de nuvem de pontos em edificações existentes.	19
Figura 3	(A) os dados de nuvem de pontos servem como entrada do processo Scan-to-BIM; (B) modelo BIM geométrico construído.	24
Figura 4	A nuvem de pontos digitalizada (esquerda) e o modelo BIM generalizado no formato IFC (direita).	24
Figura 5	Exemplos com diferentes tomadas na restituição de várias fotografias.	33
Figura 6	Tipos de marcas de referência para realização dos trabalhos em campo.	34
Figura 7	(A) Modelo multirrotor fabricante Chinesa DJI; (B) Vant Modelo Horus asa fixa, fabricado no Brasil.	36
Figura 8	Órgãos regulamentadores brasileiros e suas respectivas informações.	37
Figura 9	O sensor <i>LiDAR</i> iPhone.	39
Figura 10	(A) captura de dados (B) comparação à RGB colorida capturada pelo Aplicativo Scanner 3D.	40
Figura 11	Imagem 3D de apartamento.	40
Figura 12	Delineamento de pesquisa.	44
Figura 13	Ciclos de desenvolvimento.	47
Figura 14	Mavic Air 2.	49
Figura 15	Iphone <i>Scanner laser</i> (2024).	49
Figura 16	<i>Softwares</i> utilizados.	50
Figura 17	Etapas para estudo de caso em ambiente externo.	52
Figura 18	Etapas para estudo de caso em ambiente interno.	53
Figura 19	Problemas associados ao processo de documentação <i>as-built</i> .	64
Figura 20	Gráfico em barras, problemas associados as etapas de planejamento.	70
Figura 21	A) Laser scanner; B) Dispositivo móvel; C) VANT.	71

Figura 22	Gráfico em barras, dificuldades em etapas de aquisição de dados.	74	75
Figura 23	Gráfico em barras, quantidade de publicações.	75	76
Figura 24	Problemas na etapa de processamento de dados.	78	79
Figura 25	Gráfico em Barras, problemas na etapa de reconstrução BIM.	80	81
Figura 26	<i>Framework</i> de digitalização para BIM.	83	84
Figura 27	Gráfico em Barras, problemas na etapa de análise e verificação.	86	87
Figura 28	Localização do empreendimento: A) Mapa região litorânea Praia do Cassino; B) Entorno imediato; C) Perspectiva externa.	89	89
Figura 29	Planejamento de voo.	90	91
Figura 30	Descrição do levantamento aéreo em ambiente externo.	91	92
Figura 31:	Propriedade de imagens capturadas pelo VANT.	92	93
Figura 32	Processamento fotogramétrico, nuvem de pontos densa.	94	95
Figura 33	A) Nuvem de pontos, dados brutos; B) Nuvem de pontos tratada.	94	95
Figura 34	Sobreposição entre nuvem de pontos 3D e modelo BIM planejado.	96	97
Figura 35	A) Nuvem de pontos; B) Sobreposição entre modelos geométricos	96	97
Figura 36	A) Nuvem de pontos; B) documentação existente.	97	98
Figura 37	A) Planta baixa (projeto executivo) B). Projeto legal. Documentação existente fornecida pelo representante.	100	101
Figura 38	A) Medição tradicional com trena Laser BOSCH B) Ambiente interno de apartamento em construção.	102	103
Figura 39	Aquisição de dados 3D, com sensor <i>LiDAR</i> .	102	104
Figura 40	(A) Perspectiva externa; (B) Implantação planejada.	103	105
Figura 41	A) Nuvem de pontos bruta; B) Nuvem de pontos tratada.	104	105
Figura 42	A) Reconstrução do modelo BIM B) Planta Baixa, funções de visibilidade; C) Elevação interna.	105	106
Figura 43	Documentação existente do apartamento residencial, fornecida pelo representante da empresa.	109	110
Figura 44	Técnica de aquisição de dados com fotogrametria aérea.	110	111

Figura 45	Conjunto de imagens capturadas.	111	112
Figura 46	Carregamento de imagens na Plataforma Polycan.	112	113
Figura 47	(A) Perspectiva externa; (B) Implantação planificada.	112	113
Figura 48	Ferramenta de medição 3D.	112	114
Figura 49	Recorte na Geometria tridimensional da edificação (área de interesse).	113	114
Figura 50	(A) Exportação do <i>Blueprint</i> ; (B) Visualização do <i>Blueprint</i> , e definição da área de interesse.	114	115
Figura 51	(A) Geração de eixos de referência (B) Paredes sobrepostas aos dados de entrada.	115	116
Figura 52	Extração de medidas no modelo 3D, disponível na plataforma <i>web</i> , Polycan.	116	117
Figura 53	(A) Localização da construção; (B) Perspectiva do edifício.	118	120
Figura 54	Levantamento tradicional com trena métrica.	120	122
Figura 55	Aquisição de dados em ambiente interno.	121	122
Figura 56	A) Momento da captura (construção da geometria em tempo real); B) Modelo 3D; C) Vista planificada.	121	123
Figura 57	A) Planta baixa representação <i>as-built</i> ; B) Modelo 3D Isométrico.	123	125
Figura 58	Elevações internas geradas.	123	125
Figura 59	Fluxo de trabalho proposto.	131	133

Lista de Tabelas

Tabela 1	Descrição dos principais problemas destacados por cada autor.	21
Tabela 2	Dados preliminares.	59
Tabela 3	Trabalhos aceitos.	59
Tabela 4	Categorias investigadas ao longo do ciclo de vida da edificação.	68
Tabela 5	Diferenças entre medidas.	97
Tabela 6	Vantagens e desvantagens.	99
Tabela 7	Duração das atividades de planejamento.	101
Tabela 8	Duração entre etapas.	103
Tabela 9	Duração da atividade.	105
Tabela 10	Comparação de medidas.	106
Tabela 11	Vantagens e desvantagens.	107
Tabela 12	Duração da atividade.	109
Tabela 13	Duração da atividade.	111
Tabela 14	Comparação de medidas.	115
Tabela 15	Vantagem e desvantagens.	117
Tabela 16	Duração da reunião, para planejamento da atividade.	119
Tabela 17	Duração entre etapas.	122
Tabela 18	Duração da fase reconstrução BIM.	124
Tabela 19	Diferenças entre medidas.	124
Tabela 20	Vantagens e desvantagens.	125

Lista de siglas e abreviações

- **3D** - Tridimensional
- **ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- **AECO** - Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
- **AIA** - American Institute of Architects
- **BIM** - Building Information Modeling
- **DSM** - Dense Stereo Matching
- **DSR** - Design Science Research
- **GPS** - Global Positioning System
- **ISO** - International Organization for Standardization
- **LoD** - Lod of development
- **LiDAR** - Light detection and ranging
- **PROGRAU** - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
- **RSL** - Revisão Sistemática de Literatura
- **SfM** - Structure from motion
- **SLAM** - Simultaneous Localization and Mapping
- **SPRS** - Journal of Photogrammetry and Remote Sensing
- **ToF** - Time to Fly
- **VANT** - Veículo Aéreo Não Tripulado

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problema de pesquisa	20
1.2 Justificativa	23
1.3 Objetivos de pesquisa	26
1.4 Delimitação do estudo	26
1.5 Estrutura do trabalho	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1 Documentação <i>as-built</i>	28
2.2 Documentação BIM- <i>as-built</i>	30
2.3 Modelagem baseada em imagem	32
2.4 Veículos Aéreos Não Tripulado	35
2.5 Sensores de Luz Móveis	38
2.6 Fechamento da Revisão	41
3 METODOLOGIA	42
3.1 Estratégia de pesquisa	42
3.2 Compreensão do problema	45
3.2.1 Revisão Sistemática de Literatura	45
3.3 Desenvolvimento e aplicação	46
3.3.1 Seleção e treinamento	48
3.3.2 Seleção de equipamentos	48
3.3.3 Seleção de <i>softwares</i>	50
3.3.4 Treinamento	50
3.4 Métodos e técnicas de coleta e análise de dados	51
3.4.1 Estudo de caso 1.	51
3.4.2 Estudo de caso 2	53
3.4.3. Estudo de caso 3	54
3.4.4 Estudo de caso 4	55
3.4 Análise e verificação	55

4 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	56
4.1 Protocolo de revisão sistemática	56
4.1.1 Objetivo geral	57
4.1.2 Definição das questões de pesquisa	57
4.1.3 Estratégia de busca e base de dados	57
4.1.4 Critérios de inclusão de artigos	58
4.2 Resultados	61
4.3 Documentação <i>as-built</i>	61
4.4 Documentação BIM <i>as-built</i>	65
4.5 Planejamento	68
4.6 Aquisição de dados	71
4.7 Processamento	76
4.8 Reconstrução BIM	80
4.9 Análise e verificação	84
4.10 Fechamento da Revisão sistemática de literatura	86
5. ESTUDOS DE CASOS	89
5.1 Ambiente externo (exploração)	89
5.2 Ambiente interno (exploração)	99
5.3 Estudo de caso 01 Ambiente externo (proposição)	107
5.4 Estudo de caso 02 Ambiente Interno (proposição)	118
6. DIRETRIZES	126
7. ANÁLISE DAS DIRETRIZES	131
7.1 Constructo utilidade.	131
7.2. Constructo facilidade de uso.	133
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
9. REFERÊNCIAS	137

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção desempenha um papel vital no desenvolvimento socioeconômico do país, gerando empregos diretos e indiretos, melhorando a infraestrutura e o comércio, atendendo as demandas habitacionais, e contribuindo para o aumento dos níveis de bem-estar social. No Brasil, o setor mostrou-se resiliente no enfrentamento na conjuntura pós-pandemia, sendo que, no ano de 2022, gerou R\$ 439,00 bilhões em valor de incorporações, obras e/ou serviços, empregando cerca de 2,3 milhões de pessoas (Paic, IBGE, 2022).

Esses indicadores abrangem resultados em três seções: construção de edifícios, obras de infraestrutura e serviços especializados, com participações de setores públicos e privados. Apesar dos indicadores sinalizarem a contribuição da indústria da construção para a economia brasileira, o setor ainda enfrenta dificuldades que limitam seu progresso. Questões como a fragmentação organizacional, falta de qualificação de profissionais, tal como, a adoção tecnológica e instrumentos para maior integração e redução de custos, são fatores que podem ser considerados, para superar os obstáculos e elevar o desempenho das atividades.

Nesse panorama, recentes enfoques para a gestão da construção carecem de metodologias precisas, e confiáveis em diferentes etapas do processo. Diferentes tipos de tecnologias poderiam ser integradas, em um ambiente de modelagem de informações da construção (BIM), no gerenciamento de dados, para registrar as condições construídas, e fornecer informações mais completas sobre os componentes executados (Zhang et al. 2024).

Em modelo BIM detalhado do edifício real, representa uma abordagem promissora e de rápido desenvolvimento para a gestão da informação (Eastman et al. 2014). Portanto, a transição para tecnologia BIM, combinada com modelos tridimensionais como as nuvens de pontos, implicam uma redefinição nos processos de documentação, capazes de produzir uma série de registros precisos que refletem as condições reais da construção, para que verificações e atualizações possam representar as condições "*as-built*" (Klein 2012; Abbas, 2017; Honti, 2020).

Campos de pesquisa, em estágios da construção, destacam fluxos de trabalho vantajosos com uso de recursos de visão computacional (Menon, 2006). Diversos autores empregam técnicas de aquisição de dados como a fotogrametria digital para

favorecer o monitoramento do progresso da construção (Tuttas, 2014; Borremann, 2015; Golparvar, 2015), similarmente, investigam abordagens otimizadas como escaneamentos a *laser*, para gerar análises estruturais (Bosché, F. 2015; Kim, 2019).

Esses estudos, garantem maior desempenho no desenvolvimento de projetos, visto que apoiam atividades e etapas iniciais de medições e verificação do *status* da construção (Figura 01).

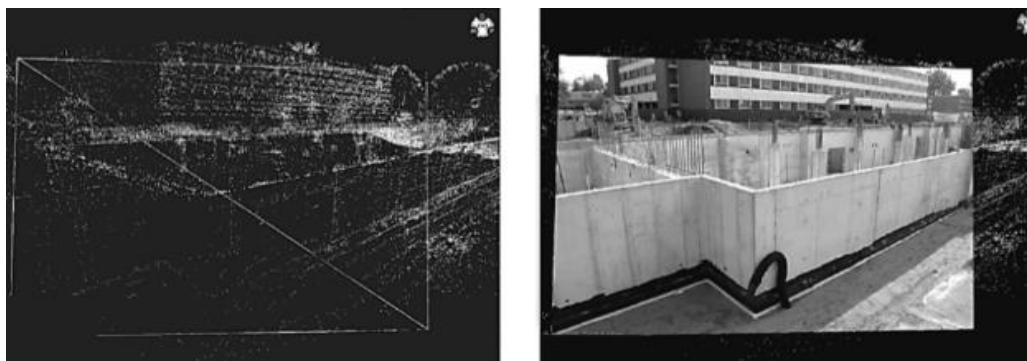


Figura 01: (esq.) Nuvem de pontos *as-built*; (Dir.) Fotografia visualizada sobreposta a nuvem de pontos. Fonte: Golparvar (2015).

Estágios ao longo da pós-construção também foram observados avanços, os quais exploram técnicas de captura fotogramétricas em edificações existentes (Klein 2012). São aplicadas como o uso de dispositivos móveis e *Laser scanners* para suporte operacional e tomada de decisão, em ambientes internos e externos (Laing, 2014; Sepasgozar, 2014).

Campos de pesquisa em edificações existentes investigam o uso de técnicas com fotogrametria digital, para analisar as principais ferramentas (*softwares*) disponíveis, e aplicações de estudos de casos em diferentes cenários, inerentes na proposição de novos métodos de restituição digital em patrimônios arquitetônicos (Groetelaars 2008).

Essas contribuições, ampliam a discussão sobre a adoção de BIM em áreas como manutenção e operação do patrimônio histórico, enfatizando o vínculo das tecnologias de levantamentos (escaneamentos a *laser* 3D, fotogrametria) na captura do estado real de edificação patrimonial (Dezen-Kempton, 2015) (Figura 02).

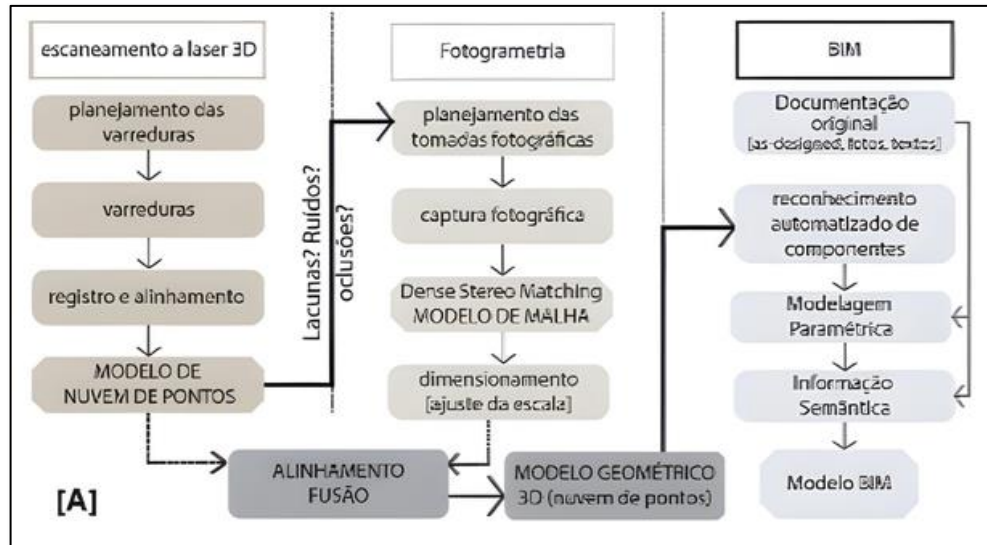


Figura 02: (A) Delineamento adotado para reconstrução BIM. Fonte: Dezen-Kempter, (2015).

O processo de documentação *as-built*, envolve diferentes estágios, devidas suas características em representar as particularidades físicas da edificação, torna-se essencial que arquitetos, entre outros profissionais, garantem documentos corretos, para que proprietários e outros interessados, não encontrem informações imprecisas, em intervenções futuras que venham ocorrer (Laing et al., 2014; Turkan, 2014). Além disso, a documentação atualizada pode aumentar a transparência de projetos, otimizar a conectividade entre dispositivos, e exigir mínimo de esforço para adotar uma visão eficaz da realidade construída (Usmani et al., 2020).

Portanto, uma abordagem inovadora, onde o carácter da pesquisa é atribuído à identificação de contextos problemáticos em processos de documentação *as-built*, são aqui destacados aspectos fundamentais: (I) como os benefícios potenciais podem ser organizados, (II) como são apresentados para uma implantação bem-sucedida, e (III) como o foco, desempenha meios para sintetizar o conhecimento, e conduzir a pesquisa para proposição de novas abordagens. Etapas finais não apenas investigam fenômenos ao longo do fluxo de trabalho, mas contribuem para profissionais e organizações, superar às demandas do setor, no século XXI.

1.1. Problema de pesquisa

A capacidade de uso e aplicação de recursos computacionais, combinados com técnicas inovadoras para levantamentos de dados, revelam maior autonomia para profissionais, no desenvolvimento de projetos. Apesar disso, o setor da construção muda lentamente e carece de meios eficientes para atender as exigências no gerenciamento de documentos, sobre o ponto de vista dos proprietários e usuários finais (Bosché, 2008).

A indústria da construção é reconhecida por resistir as inovações tecnológicas, a tal forma, que abordagens tradicionais de contratação e entrega de serviços, tornam as tarefas improdutivas, afetando a comunicação entre os participantes (Turkan, 2014). Tópicos que circundam campos de pesquisa, como processos de documentação *as-built*, destacam que os principais obstáculos ocorrem durante as fases iniciais de levantamentos de dados e verificação sobre as modificações na construção (Tuttas, 2014).

As limitações, sinalizam aspectos tecnológicos como falta de dispositivos e recursos computacionais, embora exigem conhecimento técnico do usuário/projetista, para operar informações ou maior volume de dados (Patreucean et al., 2015; Bueno, et al., 2018). Essas questões, envolvem coleta de dados em ambiente de construção, geralmente obtidas por meio de técnicas manuais de medições, são reflexos críticos, onde as organizações carecem de procedimentos claros, que visam o aperfeiçoamento e o gerenciamento de projetos.

Em consequência disso, equipes de projeto enfrentam dificuldades em incluir modelos 3D, no reconhecimento de propriedades geométricas, para elevar o desempenho de edifícios e instalações (Laing et al., 2014).

Essas complicações entre as etapas de processamento, os dados coletados precisam ser conferidos e validados, para dar suporte a documentação. Por outro lado, a geração de documentos com uso de BIM, pode ser um desafio, devido à falta de padronização na transferência de dados entre *softwares*, o que acaba consumindo mais tempo (Laing et al., 2015).

Embora *softwares* BIM não tenham a capacidade de converter diretamente geometrias primitivas¹ (Hichri 2013; Laing et al., 2015) em modelos de informação, é necessário, que o projetista remodele a geometria manualmente, por meio de técnicas de engenharia reversa² (Jaehoon 2014; Bassier 2017; Meidow et al., 2018). Esse conceito é adotado por pesquisadores, para recriar um elemento a partir de um modelo físico existente, através da análise, e sobreposição, para converter modelos 3D em modelo de informação.

Mesmo que o sucesso da tecnologia BIM favoreça o desenvolvimento de projetos, sua implantação depende de informações precisas armazenadas para uso futuro, no entanto, projetos desenvolvidos podem conter informações desatualizadas ou ausentes (Bueno et al., 2018; Wang et al., 2019).

Para revisar aspectos problemáticos e dificuldades conferidas até o momento, foram destacados elementos que auxiliam a compreensão dos principais obstáculos (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos principais problemas relacionados a documentação *as-built* destacados por cada autor. Fonte: o autor (2024).

Problemas	Descrição	Autores
Operacional	- Levantamento e técnicas de coleta de dados manuais. - Abordagens tradicionais de entrega e contratação. - Integração de diferentes fontes de dados - Reconstrução de modelos 3D.	Hichri, N. 2013; Bosché et al., 2014; Tuttas, S. 2014; Golparvar, F. 2015; Bueno et al., 2018; Wang et al., 2019; Freimuth, H. 2019; Bang, S. 2020; Honti et al., 2020; Kaamin, M. et al. 2020

¹ Autores utilizam ao termo “geometrias primitivas” para referir-se a nuvem de pontos 3D, que contem somente dados geométricos, capturados de ambientes, objetos, entre outros.

² Metodologia aplicada para reconstruir objetos de uma determinada estrutura, por exemplo, gerar elementos paramétricos em BIM, a partir de nuvem de pontos capturadas.

Organizacional	• Capacitação técnica. • Padronização de processos. • Falta ou inexistência de documentos. • Problemas de comunicação	Bosché et al., 2008; Golparvar, F. 2015; Patreucean et al., 2015; Laing et al., 2015; Abbas, K. 2017; Bueno, 2018; Usmani et al., 2019; Wang, 2019; Honti et al., 2020
Tecnológicos	• Equipamentos para aquisição de dados. • Recursos computacionais.	Kim et al. 2013; Sepasgozar, 2014; Laing et al., 2015; Marcher, H. 2015; Meidow et al., 2018; Honti et al., 2020; Kaamin, M. et al. 2020

Foram observados tópicos que afetam a organização, onde a falta de comunicação entre os envolvidos, podem afetar atividades iniciais, bom como, esclarecer informações gerais, requisitos de projetos devem estar previsto em acordos formalizados entre os participantes.

Dificuldades para transferir modelos entre diferentes *softwares*, resultam em uma barreira para otimização de processos, além da falta de procedimentos claros em fluxos de trabalhos. Esses desafios requerem amplo entendimento, e interação multidisciplinar para garantir que procedimentos atendam às expectativas, em um ambiente cada vez mais dinâmico e exigente.

1.2. Justificativa

Visto que o setor da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) enfrenta inúmeras barreiras acerca da gestão eficaz de projetos, associados as limitações como abordagens tradicionais de documentação, pesquisas investigam as principais etapas da documentação *as-built*, para estabelecer uma base sólida para profissionais e organizações aperfeiçoarem seus processos (Bosché, F. et al., 2008; Sepasgozar et al., 2016). A motivação para explorar esse campo, deve-se pela disponibilidade de inúmeros dispositivos, a serviço da implementação de novas estruturas, voltadas a transformar abordagens tradicionais e adaptabilidade as demandas contemporâneas (Klein 2012; Tan, Qu, 2015).

Sobre uma visão mais abrangente a construção de um modelo BIM aprimorado do edifício real, com a possibilidade de explorar informações de forma ilimitada, representa uma abordagem conveniente ao longo de todo o ciclo de vida, incluindo projeto, construção e operação (Eastman et al., 2014). Por essa razão, a capacidade de gerar e manter um BIM preciso e atualizado que reflita as condições *as-built* está se tornando uma necessidade vital na indústria da construção (Rausch, 2021).

Modelos tridimensionais, como nuvem de pontos, são frequentemente usados para qualificar modelos BIM de uma construção ou, serem armazenadas para uso futuro (Laing, R. et al. 2014). Autores explicam como o uso de dados em nuvem de pontos 3D pode representar as condições reais, propõe capturar o máximo de informações possíveis, para digitalizar ambientes internos e externos, subscrever um modelo BIM, ou comparar com o projeto planejado (Banfi F. et al 2022; Meyer T. et al 2023; Kim M. et al 2023).

Conceitos como *Scan-to-BIM* e *Scan-vs-BIM* estão em constante evolução, em termos de fluxo de trabalho (Bosché, F. et al., 2015; Tan, QU. 2015; Usmani et al., 2020). *Scan-to-BIM* é definido pelo processo de conversão de dados digitalizados para modelos BIM, usando como referência a nuvem de pontos 3D (Wang, Q. 2019; Klauer, T. 2021). Essa abordagem é realizada por modeladores capacitados que interpretam a nuvem de pontos 3D e projetam manualmente todos os objetos relevantes na cena, conforme demonstrado na Figura 3 (Bassier 2020).

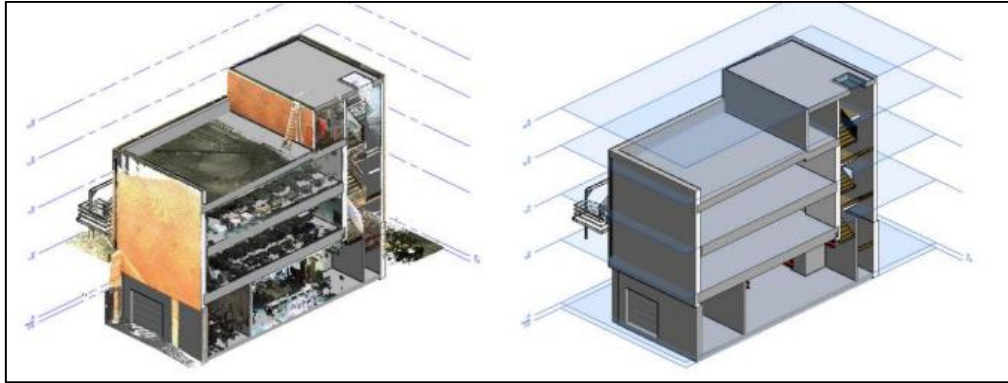


Figura 03. (A) os dados de nuvem de pontos servem como entrada do processo Scan-to-BIM; (B) modelo BIM geométrico construído. Proposto por Bassier, (2020).

Usmani et al. (2020) propõe uma estrutura orientada para *Scan-to-BIM*, com uso de *scanner a laser*, para reconstrução BIM a partir do zero. Os autores comentam que a precisão é um dos fatores que proporciona maior qualidade durante a aquisição de dados, devido a isso, os levantamentos de dados devem ser planejados, para garantirem representações adequadas, e concisas em etapas subsequentes, como a reconstrução BIM.

Em contrapartida, o conceito *Scan-vs-BIM* é utilizado na comparação de dados 3D digitalizados, sobrepostos a modelos BIM planejados. Essas abordagens podem ser obtidas mediante tarefas semi ou totalmente automatizadas (Honti, 2020). Bosché, F. (2015), sugere que as nuvens de pontos digitalizadas por *laser scanner*, sejam comparadas e alinhadas ao sistema de coordenadas de um modelo BIM existente.

Esses estágios, os autores avaliam diferenças geométricas e desvios entre modelos, demonstrando um fluxo de trabalho para atualização de projetos, conforme Figura 4 (Kim et al., 2022; Bueno et al., 2018; Honti, 2020).

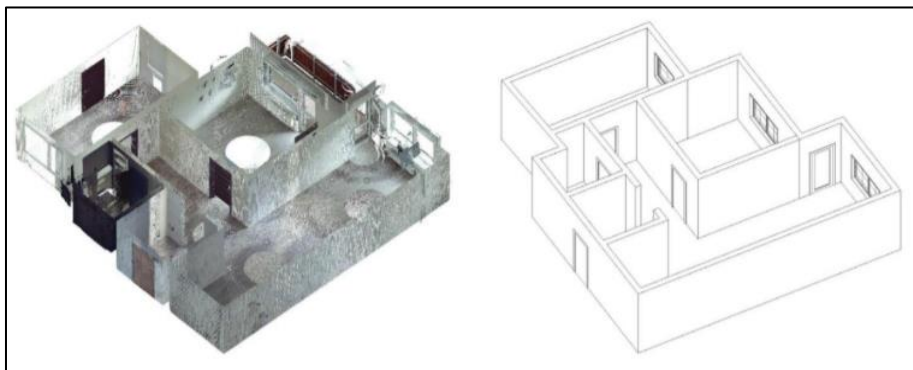


Figura 04. A nuvem de pontos digitalizada (esquerda) e o modelo BIM generalizado no formato IFC (direita). Proposto por Honti, (2020).

Essa metodologia caracteriza-se por sobreposições entre modelos, correspondências, para monitorar o progresso da construção (Wang. Q, 2019). Dessa maneira, a tecnologia BIM, combinada a técnica de captura digital, vislumbram oportunidades de melhoria em processos de documentação *as-built*.

O emprego de dispositivos para captura de dados como *laser scanners*, e técnicas de fotogrametria digital, tornam-se viáveis para obter modelos tridimensionais (Faltýnová, 2016; Julin e Jaalama, 2019). Nesse panorama, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS), é capaz de coletar dados em ambiente externo, percorrer o entorno de estruturas e edifícios, sem interferir na atividade da construção em andamento (Freimuth, 2019), além disso, capta imagens de alta resolução, para serem processadas, integradas a *softwares* e outras aplicações (Aguera-Vega et al., 2017; Braun et al., 2018).

Portanto, o presente trabalho não se limita apenas a identificar obstáculos, mas apresentar um método interativo para reorganizar procedimentos tradicionais, ampliando o entendimento entre partes interessadas, sobre abordagens inovadoras em processos de documentação *as-built*.

Questões da pesquisa

A principal questão de pesquisa é: como implementar a nuvem de pontos e a modelagem BIM no processo de documentação *as-built* de edificações?

Perguntas secundárias surgiram como desdobramento da questão principal, tais como:

- a) Como a aquisição de dados do ambiente construído pode contribuir na geração de nuvens de pontos 3D?
- b) Como ocorre o vínculo da nuvem de pontos com a tecnologia BIM?
- c) É possível avaliar a qualidade do modelo a partir da modelagem BIM e nuvem de pontos?
- d) Quais são os principais desafios e limitações na integração de nuvens de pontos 3D com modelos BIM?

1.3. Objetivos da pesquisa

O objetivo da pesquisa é propor diretrizes que ofereçam melhorias na realização de procedimentos de documentação *as-built* utilizando a tecnologia BIM e nuvem de pontos.

Tendo em vista o objetivo principal, foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- a) Investigar a aplicação de técnicas de digitalização, e contribuir na geração de nuvens de pontos 3D;
- b) Avaliar a interação e vínculo da nuvem de pontos com a tecnologia BIM;
- c) Apresentar melhorias no fluxo de trabalho, para fins de análise e verificação de documentação arquitetônica;
- d) Compreender as etapas do processo de documentação *as-built*, e reconhecer os papéis de agentes envolvidos durante o desenvolvimento do projeto.

1.4 Delimitação do estudo

A presente pesquisa busca explorar o uso de tecnologias digitais para aprimorar o processo de documentação *as-built*. Ao definir um escopo claro, a pesquisa direciona esforços para investigar metodologias que possam melhorar o desempenho do processo de documentação em estágios de construção de edificações.

A pesquisa delimita-se ao uso das tecnologias BIM e nuvem de pontos, considerando que essas ferramentas e recursos podem oferecer aplicações diretas para o contexto de documentação *as-built*. No entanto, tecnologias que demandam conhecimentos avançados em programação, como *Deep Learning* ou *Machine Learning* (aprendizado de máquina) não serão incluídas no escopo, visto que essas áreas exigem capacitação, e dependem de maiores recursos computacionais para realizar operações.

A metodologia adotada será a *Design Science Research* (DSR), uma abordagem que concilia fundamentos como rigor teórico e relevância prática, associados a proposição de intervenções e estudos de casos exploratórios, no contexto da construção. A DSR permitirá, uma análise crítica das etapas, desde a concepção, desenvolvimento e validação das diretrizes propostas.

Por fim, a pesquisa adota um recorte focado em publicações entre 2013 a 2023, ao encontro de contribuições atuais e relevantes. Esse recorte permite que a investigação reúna contribuições pertinentes, auxiliando no desenvolvimento de práticas adequadas, para qualificar os processos de documentação *as-built*.

1.5 Estrutura do trabalho

Capítulo 1 - **Introdução** - Apresentação do tema, panorama atual.

Capítulo 2 - **Revisão Bibliográfica** - Revisão bibliográfica para dar suporte ao longo do trabalho, principais conceitos.

Capítulo 3 - **Metodologia** - Conceitos-chave adotados em *Design Science Research*, e descrição dos estudos de caso.

Capítulo 4 - **Revisão Sistemática de Literatura** - Tem a função de identificar e compreender a classe de problemas sobre as principais etapas, dar solidez teórica, para construção de conhecimento nesse campo de pesquisa.

Capítulo 5 - **Estudos de casos** - Desenvolvimento de estudos de casos *in loco* para entender ferramentas de captura, processamento, e representação 3D baseadas em diferentes cenários, e como podem ser empregados na otimização de processos de documentação BIM.

Capítulo 6 - **Diretrizes de pesquisa** - Apresentação dos principais resultados da pesquisa.

Capítulo 7 – **Análise das diretrizes**. Análise dos resultados, considerações finais, observações do autor.

Capítulo 8 – **Considerações finais**.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo contempla uma revisão das principais etapas e conceitos associados ao processo de documentação *as-built*, reconhecendo os diferentes estágios do ciclo de vida da edificação, identificando lacunas e desafios atuais sobre a literatura existente.

Nesse contexto, buscamos introduzir o leitor acerca dos fenômenos que envolvem a integração da nuvem de pontos 3D com a tecnologia BIM, considerando suas potencialidades, revisando soluções experienciadas por outros autores, adotando uma visão clara e integra sobre campos de pesquisa que orientam novas metodologias para a otimização de processos.

Esta revisão analisa as recentes técnicas disponíveis para levantamento de dados, como a fotogrametria digital, e o uso de dispositivos móveis, com sensores *LiDAR*, evidenciando suas características, bem como, os desafios para aplicações em procedimentos de projetos.

2.1. Documentação *As-Built*

A documentação de projetos desempenha um papel fundamental na comunicação entre todos os envolvidos no processo construtivo. Desde o esboço inicial até as etapas finais da construção, a representação técnica de um projeto é um elemento chave para assegurar a execução correta e confiável dos projetos propostos.

“A documentação arquitetônica consiste em um conjunto de processos, constitui uma atividade que reúne diversas disciplinas, tecnologias e profissionais. Por outro lado, a documentação arquitetônica pode ser entendida como um produto, que compreende uma série de documentos resultantes de um processo. (Amorim, 2017).”

Segundo Amorim (2017), destaca que a documentação não é apenas uma tarefa isolada, mas que pode integrar diferentes áreas distintas, para representar estruturas, instalações, podendo ser vista como o resultado de um processo. Essas características são importantes para analisar e compreender diferentes momentos de um projeto, para atender as necessidades, ou atingir determinados objetivos.

Com base nisso, o conceito de "documentação *as-built*" é entendido como a representação de como uma edificação foi construída, ou especificações de estruturas que podem ter sido alteradas ao longo do tempo. Essa compreensão é fundamental para auxiliar proprietários a obter confirmações reais após o encerramento do projeto, permitindo uma gestão completa de componentes da construção (Abbas, 2017; Freimuth, 2018; Lin Cheng et al., 2018).

Masiri kaamim et al. (2020) comentam que a documentação é necessária para verificar deslocamentos dos planos estruturais e disponibilizar informações para os envolvidos no projeto, por um conjunto de desenhos gerados em estágios finais, pós-construção. Isto implica a captura da geometria e transformação de dados em representações de alto nível de detalhes, bom como, uma descrição completa de elementos, suas relações são necessárias, para obter um inventário ou realizar a documentação (Meidow, 2018).

Em estágios da construção, a documentação *as-built* pode consistir em comparações entre o projeto planejado com a construção real, para registrar seu desempenho (Memon et al., 2006). Uma comparação constante do planejado, sobreposto ao construído, pode ser realizado para evitar consequências futuras em caso de defeitos de fabricação (Bosché et al., 2015,)

Essas informações apoiam diretamente a tomada de decisão, e se automatizadas, podem impactar significativamente o gerenciamento do projeto (Golparvar, 2015). Rausch e Haas (2021) explicam que na indústria, é necessário validar as condições *as-built* constantemente, para assegurar a conformidade geométrica de elementos e módulos estruturais no canteiro de obras.

As etapas de documentação *as-built* também ocorrem após a construção, onde qualquer mudança deve ser registrada representando todos os componentes instalados, visto que são essenciais para reformas e gestão de instalações (Dickinson, 2009). Esses procedimentos, incluem a correção de projetos, verificações dimensionais, análises de desvios, entre outros (Klein et al., 2012; Anil et al., 2013).

Etapas preliminares, devem considerar as necessidades do contratante, dados de entrada, documentação existente, fundamentais para a gestão do projeto (Tang et al., 2010; Klein et al., 2012). Um acordo comum entre as partes envolvidas, deve ser determinado, para determinar níveis de detalhe e clareza sobre a documentação. Mediante a isso, essa especificação dos requisitos pode depender das características

da edificação, o estágio que se encontra, e o local da área de interesse (Faltynova, 2016).

Termos de precisão na abertura de projetos, incluindo dados geométricos e não geométricos, precisam estar em acordo entre as partes (Lin, 2018). Kim (2022) ressalta que existem variáveis sobre a estrutura organizacional, previsão de custos adicionais, aspectos tecnológicos e computacionais. Assim, a documentação de projetos, trata-se de uma estratégia vantajosa que proporciona informações detalhadas, para preservação dos empreendimentos.

Pesquisas nessas áreas são pertinentes para padronizar tarefas, e garantir documentos e informações uteis, para futuras operações e manutenção de edifícios (Esfahani, et al. 2021). À medida que processos de documentação são transformados, a tecnologia BIM modifica a maneira que profissionais desenvolvem projetos, gerando maior colaboração, e controle ao decorrer do ciclo de vida da edificação.

2.2 Documentação BIM As-Built

A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) tem sido amplamente aplicada para gerenciar e monitorar projetos, com propósito de garantir que o modelo digital da edificação esteja alinhado com as condições construídas. Tang (2010) refere-se ao termo BIM *as-built*, para as representações digitais que refletem seu estado atual construído. Hichri et al. (2013) explicam que essa metodologia é usada ao lidar com representações que documentam as condições no momento que o levantamento é realizado, observando a necessidade de uma sequência para construir modelos digitais, (Hichri et al., 2013).

Ochmann et al. (2016) explicam que a reconstrução de modelos BIM orientada para nuvem de pontos, são usadas como ponto de partida para gerar modelos BIM. O autor demonstra um método automático para reconstrução, em ambientes internos, por meio de recursos interativos. Apesar disso, alguns desvios, podem afetar a precisão dos resultados, e exigir correções manuais e demoradas, conforme destacado por (Usmani et al. 2020).

Anil et al. (2013) compara os desvios entre modelos BIM *as-built* com nuvens de pontos 3D em edificações existentes, obtidas por escaneamentos a *laser*. O autor analisa os padrões e distâncias mínimas entre os modelos, e apresenta um método

para analisar desvios geométricos. Classifica erros de modelagem em quatro categorias: (1) Componentes ausentes; (2) Geometrias incorretas; (3) Localização incorreta; (4) Orientação incorreta.

Sepasgozar et al. (2014) analisa diferentes técnicas de captura, como *laser scanners* e fotogrametria. O autor ressalta métodos de modelagem, pode ser dividido em duas etapas: (1) aquisição de dados; e (2) modelagem BIM. Entretanto, poucos métodos são capazes de lidar simultaneamente com nuvens de pontos de diferentes fontes de dados, limitando a aplicabilidade das soluções.

Dezen-Kempton (2015) apresenta a integração de tecnologias de levantamento híbridas (escaneamento 3D a *laser*, fotogrametria) para a captura do estado real de uma edificação histórica, visando a modelagem BIM. A nuvem de pontos gerada constitui a base para a criação de um modelo BIM, para produzir um inventário, considerando os requisitos de manutenção de edificações históricas, que amplia a discussão sobre a adoção de BIM, em áreas como patrimônio histórico.

Becker et al. (2015) propõem a reconstrução de modelos internos a partir de nuvens de pontos, envolvendo três etapas: (1) modelagem geométrica, (2) reconhecimento e segmentação, e (3) reconstrução de objetos. Semelhante a isso, Bueno et al. (2018) demonstra uma metodologia com base em: (1) relações geométricas entre modelos, (2) sobreposição de planos e; (3) paralelismos, ortogonalidade, utilizando algoritmos de diferentes conjuntos de dados. Esses procedimentos visam manipular e redesenhar a geometria, geralmente exigem ajustes para posicionar e sobrepor os modelos.

Lin (2018) desenvolve um sistema de gerenciamento de modelos BIM *as-built*, durante o encerramento de projetos. O autor destaca problemas na comunicação e no compartilhamento de dados entre engenheiros e inspetores para gerenciar atualizações em modelos *as-built*. O estudo propõe um sistema baseado na *web*, para rastrear e garantir atualizações em tempo real, para atender os requisitos específicos.

Esses modelos são vitais para a redução dos custos, falhas durante a execução, e referência para ações futuras de projetos e reformas (Bassier, 2020). Embora a integração seja vista como potencialidade, as transferências entre diferentes *softwares* ainda são complexas, e coloca algumas limitações que requerem maior maturidade, domínio técnico das ferramentas, e capital para explorar todo o potencial da tecnologia (Groetelaars, 2015).

A rápida transformação tecnológica pode levar ao surgimento de novas estratégias, e modificar a estrutura da modelagem adotada. Autores podem divergir sobre a sequência de atividades, devido a fatores que vão desde a abordagem metodológica, recursos disponíveis e situações específicas de cada projeto. O planejamento do processo é muitas vezes executado independentemente das fases previstas do projeto.

A seguir, serão revisadas as funcionalidades da fotogrametria digital, vem progredindo como uma solução adequada para qualificar etapas iniciais de aquisição de dados. Seu desenvolvimento impulsiona a capacidade de inovação em etapas de levantamentos, com potencial de superar as abordagens tradicionais.

2.3 Modelagem 3D Baseada em Imagem

A fotogrametria é uma técnica capaz de reconstruir cenas tridimensionais, oferecendo recursos computacionais, para aplicações em variados segmentos. Segundo a definição da Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS), a fotogrametria é uma ciência e tecnologia que é possível extrair informações geométricas tridimensionais confiáveis, através da captura de cenas a partir de dados orientados por imagens.

Os métodos baseados em imagem são comumente usados na indústria de AECO, para criar modelos 3D detalhados de ambientes, no estado em que se encontram (Tan Qu et al. 2015). Autores revelam que o princípio da fotogrametria ocorre de modo similar à visão humana, quando um objeto é visto ao menos em duas imagens, em diferentes posições relativas, permitindo uma visão estereoscópica³ e a visualização de elementos 3D (Faltýnová 2016).

Por outro ângulo, estudos de Groetelaars (2004), explicam que a fotogrametria digital foi desenvolvida pelos anos 80 e 90, sendo aplicável a inúmeras situações na arquitetura. Apesar das facilidades oferecidas, a técnica é ainda pouco explorada, de modo que, trabalhos voltados projeto de edificações, tem sido investigado por

³ O fato de o ser humano ter dois olhos permite-lhe, através da *estereoscopia*, ter a noção de profundidade espacial, por exemplo, ter a noção da distância a que se encontram os objetos. <http://www.ifi.unicamp.br/~dfigueir/holosite/estereo/estereos.htm>.

instituições de pesquisas, e difundidos em simpósios e conferências (Groetelaars e Amorim, 2008).

Nessa perspectiva, uma imagem bidimensional pode corresponder a uma infinidade de pontos (x, y, z) para representar objetos capturados no espaço, (Groetelaars, 2004). Essa relação pode ser classificada em três categorias:

- Gráfica usando relações geométricas;
- Analógica usando componentes ópticos-mecânicos
- Analógicos/digitais com auxílio de recursos computacionais.

As soluções gráficas foram as primeiras técnicas que marcam o princípio da fotogrametria. Técnicas analógicas começaram a ser empregadas, devido à substituição de cálculos matemáticos e operações geométricas por equipamentos ópticos mecânicos. Recentemente, as soluções analógicas foram substituídas por processos digitais, tornando essas abordagens mais acessíveis a inúmeras aplicações.

A técnica de restituição a partir de várias fotografias consiste em capturar imagens de um objeto em diferentes posições, assegurando que cada parte seja registrada pelo menos três vezes. A identificação de pontos comuns entre as fotos permite a reconstrução do objeto por meio de interseções, conforme Figura 5, (Groetelaars 2004).

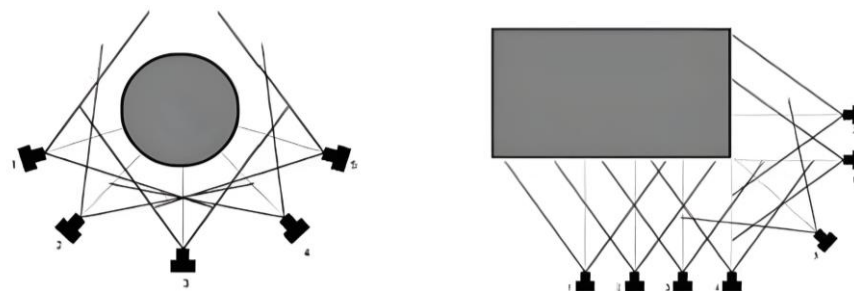


Figura 5: Exemplos com diferentes tomadas na restituição de várias fotografias.

Fonte: Groetelaars (2004).

Nesse sentido as técnicas fotogramétricas exigem ajustes de calibração internos da câmera que determina parâmetros como distância focal, imagem, distorção da lente, enquanto os parâmetros exteriores definem posições, orientações angulares associadas a uma imagem (Klein et al., 2012). Dessa forma, a fotogrametria

também é definida por equações de co-linearidade⁴ e requerem processos estruturados que geralmente consistem em: (1) determinar as posições da câmera; (2) extração de pontos de controle nas superfícies do objeto; (3) correspondência de imagem (Tan, Qu. 2015).

Com a ajuda de pontos de controle podemos combinar conjuntos de imagens que não poderiam ser orientados apenas pelo uso de correspondências automatizadas (Borrmann 2015). Visto isso, depois que as orientações das câmeras são estimadas pelas informações contidas nas imagens, o uso de pontos de controle⁵ adicionais fornecem posicionamentos geográficos conhecidos, e escala precisa para a reconstrução 3D, mediante operações em *softwares* e recursos computacionais.

Alvos de controle, determinam referências em diferentes partes da construção, são essenciais para correspondência dentro do sistema de coordenadas (Figura 06). Por exemplo, a demarcação de marcos *in loco*, para alcançar alto nível de precisão, podem ser incorporados após o processo fotogramétrico (Tuttas, 2014; Briceño, 2021).

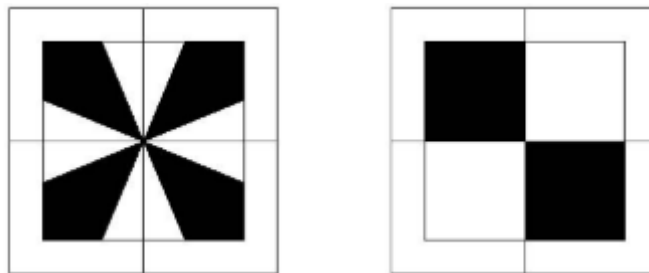


Figura 06: Dois tipos de marcas de referência adotadas, com dimensões de 8x8 para auxiliarem na realização dos trabalhos em campo. Fonte: Groetelaars, N. (2008).

Recentemente, os processamentos para a criação do modelo geométrico 3D são obtidos por meio de programas de código aberto (*open source*), ou de plataformas na *web* (*free online service*). Por outro lado, *softwares* comerciais para fotogrametria digital apresentam desempenho superior e limites mais flexíveis para o *input* de dados do que os *open-source*, porem seu custo é elevado (Dezen-Kempter et al., 2015).

⁴ Essas equações são fundamentais na fotogrametria e são usadas para estabelecer a relação geométrica entre pontos no espaço tridimensional (3D) e suas projeções em imagens bidimensionais (2D).

⁵ Esses pontos, ou alvos no levantamento e representam a localização geoespacial do terreno.

Para Golparvar et al. (2015), abordagens automatizadas com uso de *softwares* comerciais visam o reconhecimento de padrões e a redução do tempo em processamentos. O autor adota a técnica baseada em *Structure from Motion (SfM)*⁶, orientado por algoritmos de visão computacional que correlacionam automaticamente a orientação da câmera, coordenadas e posições entre fotografias capturadas, identificam pontos de interesse e coincidências entre objetos (Golparvar, et al., 2015; Aguera, et al., 2017; Briceño et al., 2021).

Essas técnicas de fotogrametria digital também são conhecidas por, *Dense Surface Modeling*, ou *Photo-based scanning*, que envolvem a geração de nuvem de pontos, com base em imagens fotográficas (Groetelaars e Amorim, 2012). Embora o uso dessas técnicas ainda seja discreto, a disponibilidade de câmeras digitais, permitem operações com enorme volume de dados, e tornam técnicas de fotogrametria digital cada vez mais acessíveis, para gerar levantamentos e medições, com dispositivos de baixo custo.

À medida que técnicas digitais para aquisição de dados são observadas, soluções inovadoras revelam práticas, com potencial de redefinir abordagens tradicionais, em direção a atividades mais produtivas e eficazes. A partir disso, observam-se inúmeras pesquisas que investigam técnicas de fotogrametria aérea, com uso de VANT. Essas aplicações, sugerem sistemas inteligentes para aquisição de dados, para uso em ambientes externos, evidenciando novos campos de pesquisas.

2.4 Veículos Aéreos Não Tripulados:

Abordagens como a fotogrametria aérea contribui para a realização de levantamentos em ambientes externos de edificações, permitindo uma visão ampliada e aplicação em diferentes contextos no ramo da construção (Pereira et al., 2018; Rizo-Maestre et al., 2020). Veículos aéreos não tripulados (VANTs) que incluem câmeras ópticas ou térmicas são amplamente utilizados para inspeção, principalmente em locais de difícil acesso (Tan, Qu. 2021).

⁶ Esta tecnologia também é conhecida por *Structure from Motion (SfM)*, *Dense Surface Modeling* e *Photo-based scanning*, dentre outras terminologias. O DSM foi desenvolvido nos últimos anos a partir de avanços em duas áreas simultaneamente: a Fotogrametria Digital, que está relacionada ao rigor geométrico e à precisão dos resultados, e a Visão Computacional.

Popularmente conhecidos como “drones”, os VANTs podem ser operados remotamente, ou realizar voos autônomos pré-configurados (Kaamin et al., 2020). Eles podem ser classificados em dois tipos, (1) multirotores e (2) asa fixa.

Multirotores são capazes de voar em baixas altitudes, incluir câmeras de alta resolução, e operar sobre uma plataforma de voo estável (Klein, L. 2012; Amorim, E. 2017) (Figura 7). Modelos como asa fixa, percorrem áreas maiores por mais tempo, consumindo menos energia (Benis et al., 2014).



Figura 7: (A) Modelo multirotor fabricante Chinesa DJI; (B) Vant Modelo Horus asa fixa, fabricado no Brasil. Fonte: <https://www.dji.com/br/mavic/info>; <https://horus.global/tecnologias>, (2024).

O uso desses equipamentos requer um aporte tecnológico para controle de voo autônomo da aeronave. Isso explica como o VANT interage com aplicações e sistemas de localização. A integração entre sistemas, permite capturar dados em ambientes externos, contribuindo para otimizar o desempenho de tarefas e capturas de imagens com alto nível de resolução (Janssen et al., 2017).

No entanto, técnicas de fotogrametria aérea, estão sujeitas a fatores críticos associados às características das imagens e ao funcionamento do equipamento (Loyola, 2021). Para aquisição de dados em campo, o planejamento de rotas e a calibração da câmera devem ser realizadas com antecedência, considerando aspectos operacionais como: (1) a duração, (2) a altitude, (3) sobreposição de imagens, integrados a um Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Freimuth, et al. 2019).

Esta tecnologia permite que o operador programe a trajetória do dispositivo durante o voo, e acompanhe atividades de medições e análises automatizadas em tempo real (Janssen, 2017). No decorrer da aquisição de dados, autores sugerem a coleta de um conjunto de pontos (alvos), posicionados em locais estratégicos, como estruturas visíveis e extremidades, utilizados com intenção de garantir a precisão

dimensional dos dados coletados, de modo que, os alvos sejam identificados e vinculados, durante o processamento (Golparvar 2015; Tuttas 2017).

Nesses casos, recursos de localização geográficas são fundamentais, coletando alvos de referência (pontos de controle), claramente visíveis nas imagens, determinados no solo antes de efetuar o voo (Aguera-Vega et al 2017).

Outra questão observada para operações com uso de VANT, refere-se a o cumprimento da legislação, da mesma forma, aspectos operacionais em ambientes externos, como canteiros de obras (Kim 2019). Apesar das legislações e normas nacionais serem um tema recente, que variam de país para país, determinam que usuários adotem certificações e autorizações, para operar o VANT dentro no espaço aéreo (Benis et al., 2014).

No Brasil, a regulamentação é coordenada por três principais órgãos: (1) Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), (2) Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e; (3) Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). (Figura 8).

Orgãos	Descrição	
ANAC	• Define restrições de voo. • Registro de equipamentos. • Regras de segurança do espaço aéreo. • Resolução n.º 419/2017. • SISANT (Sistema de Aeronaves não Tripuladas)	
ANATEL	• Homologação de equipamentos. • Cadastro de exigências técnicas.	
DECEA	• Gestão e controle do espaço aéreo. • Solicitação para operar. • SARPAS (Solicitação de acesso de aeronaves remotamente pilotadas).	

Figura 8: Órgãos regulamentadores brasileiros e suas respectivas informações.
Fonte O autor. (2024).

Segundo a ANAC⁷, VANTs com mais de 250 gramas devem ser cadastrados no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), enquanto a ANATEL⁸, exige certificação de homologação para produtos/equipamentos com relação a aspectos técnicos, como frequência e capacidade de transmissão.

Além disso, para voos comerciais, exige-se que operadores solicitem uma autorização, junto ao DECEA⁹, nesse caso, devem informar as características operacionais do voo, por exemplo, tipo de equipamento, localização geográfica, duração da atividade, junto a plataforma Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS).

Essas normativas definem limites e especificações legais, para garantir a segurança aérea e assegurar que interferências não comprometam a integridade pública. De qualquer forma, embora aplicações na fotogrametria aérea em canteiro de obras, sejam discretas, proporcionam inúmeras funcionalidades, em benefício de serviços profissionais e organizacionais, integrados a outros sistemas e controlados remotamente.

A seguir, será revisado outro dispositivo de captura de dados, que vem sendo explorado atualmente em pesquisas, associados a o uso de sensores *LiDAR* (*Ligth of Distance and Ranging*). Esses recursos são incorporados a dispositivos móveis, permitindo implicações práticas na coleta de dados, devido seu grande potencial de digitalização, para aplicação em diferentes ramos.

2.5 Sensores de Luz Móveis

Nos últimos anos, tem havido uma proliferação de pesquisas acadêmicas sobre a captura de informações geométricas 3D, incluindo *LiDAR* móvel (*Ligth of Distance and Ranging*) na indústria de AECO (Tan. Qu, 2015). A crescente oferta de recursos de digitalização, passou a estar disponível a partir dos anos 90, sendo que em 2016, foram classificadas entre as 10 tecnologias emergentes, durante o Fórum Econômico Mundial, e posteriormente estariam acessíveis em *smartphones* e *tablets* (Mêda et al., 2023).

⁷ <https://www.gov.br/anac/pt-br> Agência Nacional de Aviação Civil.

⁸ <https://www.gov.br/anatel/pt-br> Agência Nacional de Telecomunicações.

⁹ <https://www.decea.mil.br/drone> Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

A IBM (*International Business Machines Corporation*), empresa consolidada no ramo de tecnologia e transformação digital, destaca que o *LiDAR* opera com mesmos princípios que *radar* ("detecção de rádio e variação") e *sonar* ("navegação e variação sônica"). No caso, as três modalidades de medição que emitem ondas de energia para detectar e rastrear objetos (IBM, 2024).¹⁰

A utilização dessa técnica, demonstra um fluxo de trabalho automatizado, de recursos de digitalização em tempo real, que vem sendo utilizada em tarefas de captura em ambientes internos e externos (Schischmanow et al., 2022). Basicamente, disponibilizam a nuvem de pontos 3D, devido a tecnologias computacionais avançadas, como o SLAM, (*Simultaneous Localization and Mapping*) que combina recursos de localização, e sensores de câmeras (Tamimi, 2022).

Autores destacam que Sistemas inerciais e Localização e Mapeamento Simultâneo (SLAM), são possíveis devido à emissão de pulsos de luz refletida, para obter informações geométricas e gerar volume de dados (Sepasgozar et al., 2014; Plab e Bastian, 2021; Mêda et al., 2023). O sensor permite um alcance de 5 m, com base na tecnologia *ToF* (*Time of Flight*)¹¹ que determina a distância entre o sensor e o objeto, utilizando geralmente um *laser* ou LED infravermelho (Figura 9) (Tran, 2019; Delasse, C. e Wang et al., 2022).

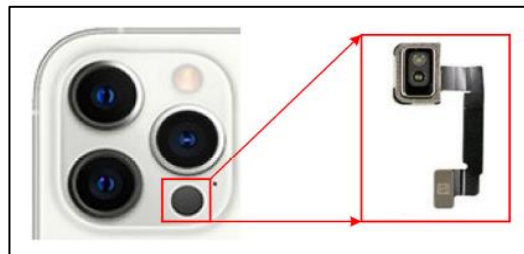


Figura 9: O sensor *LiDAR* iPhone. Wang et al. (2022).

Plaß, Mainz e Klauer (2021) exploram o processo de *Scan-to-BIM* mediante captura de nuvens de pontos 3D, em dispositivos móveis com sensor *LiDAR*, destacam a capacidade para gerar modelos 3D para edifícios existentes (Figura 10). Essa abordagem produz enorme volume de dados, e compreende as seguintes

¹⁰ <https://www.ibm.com/br-pt/topics/lidar>

¹¹ *Time to Flight* é uma técnica de medição, calculando o tempo que o feixe de luz leva para viajar até o objeto e voltar ao sensor.

etapas: (1) coleta, (2) processamento, (3) segmentação, (4) classificação, e (5) modelagem BIM.

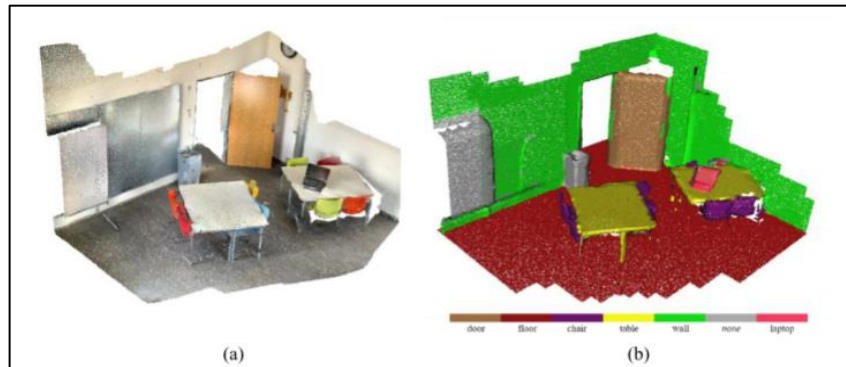


Figura 10: (a) captura de dados (b) comparação à RGB colorida capturada pelo Aplicativo Scanner 3D. Fonte: Plab e Bastian, (2021).

Esse método é particularmente útil para o levantamento de construções já existentes, pois oferece agilidade e precisão na coleta de dados espaciais. Wang et al. (2022) realiza experimentos utilizando dados adquiridos por sensor *LiDAR* encontrado no iPhone. É cada vez mais conveniente adquirir dados de nuvem de pontos, mas também é difícil segmentar os dados, devido à sua baixa precisão e alto ruído. Para resolver o problema, um método de segmentação de nuvem de pontos usando recurso interativos é proposto.

Mêda (2023), investiga o potencial da tecnologia *LiDAR*, integrado a dispositivos móveis, como o iPad, para realizar verificações em projetos de renovação de edifícios existentes (Figura 11). A metodologia proposta baseia-se em (1) Estudos de caso e objetivos; (2) Caracterização do dispositivo; (3) Digitalização; (4) Enriquecimento de dados; (5) Pós-processamento; (6) Observação. Complementa que os modos de operação podem incluir digitalização estática ou móvel, integrados a aplicações de realidade aumentada.

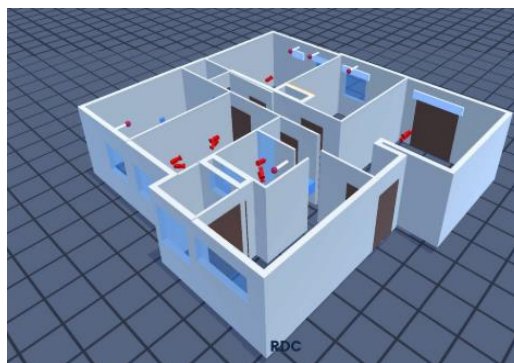


Figura 11: Imagem 3D de apartamento. Mêda (2023).

Uma característica fundamental dessa nova aplicação, é a captura simultânea de espaços por meio de tecnologia óptica de baixo custo. A integração de sensores, pode responder à necessidade de levantamentos otimizados, e melhorar a visualização de múltiplos cenários em ambientes construídos. A detecção dessa tecnologia é sensível ao movimento, tornando-a ideal para mapeamento com *smartphone*, devida sua portabilidade, sem exigir capacitação avançada de usuários em atividades de coleta de dados.

Dessa forma, encerramos essa revisão identificando tópicos correlacionados à documentação *as-built*, e o uso de tecnologias disponíveis, sobre quais contribuem expressivamente para o progresso desta pesquisa.

2.6 Fechamento de Revisão

A documentação *as-built* tem avançado significativamente com a disponibilidade de integrar novas tecnologias e recursos computacionais, não apenas para otimizar o desempenho de atividades, mas também reorganizar etapas com vistas ao desenvolvimento de projetos. No capítulo anterior, podemos perceber que o processo de documentação também abrange diversos estágios do ciclo de vida da edificação, desde o progresso da construção até a fase de encerramento.

Em consequência disso, práticas de documentação, associadas a tecnologia BIM e nuvem de pontos, são necessárias para transferência de métodos tradicionais para abordagens mais produtivas, com enfoques na qualidade. Para tanto, inúmeros desafios na aplicação de novos métodos devem ser reconhecidos. Nesse caso, destaca-se a adoção de recursos e tecnologias, a capacitação de profissionais e a gestão eficaz em organizações.

O uso de tecnologias disponíveis permite aspectos vantajosos, como captura de dados detalhados, inúmeros formatos de arquivos que podem ser integrados com *softwares* de *design*, e baixos custos operacionais. Contudo, a documentação *as-built* evoluiu para subsidiar novas formas de trabalho, permitindo uma colaboração mais integrada e informada entre profissionais.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, são detalhados os procedimentos metodológicos empregados na condução da pesquisa. São descritas as características e apresentado o delineamento da pesquisa, bem como os estudos de caso e os métodos utilizados para a coleta e processamento dos dados.

3.1. Estratégia de pesquisa

Esta pesquisa adota a *Design Science Research* (DSR) como modo de produção de conhecimento. O termo 'ciência do *design*' ou pesquisa construtiva, é usado aqui para indicar que a missão da pesquisa (acadêmica) em tal campo é desenvolver conhecimento científico para apoiar o *design* de intervenções ou artefatos por profissionais e enfatizar sua orientação para o conhecimento.

As principais características da abordagem da pesquisa construtiva são: (a) foco na resolução de problemas práticos e relevantes do mundo real; (b) desenvolvimento de uma solução inovadora destinada a abordar o problema identificado; (c) implementação e teste do artefato desenvolvido para verificar sua aplicabilidade prática; (d) colaboração entre o pesquisador e os profissionais, promovendo uma aprendizagem baseada na experimentação; (e) fundamentação do desenvolvimento em conhecimento teórico pré-existente; e (f) reflexão sobre os resultados empíricos à luz da teoria (Lukka, 2003).

Essas abordagens buscam fechar a lacuna entre a pesquisa acadêmica e as necessidades do mundo real, enfatizando que a pesquisa deve ter aplicações práticas claras, enquanto, avança o entendimento teórico sobre o tema. Nesse caso, uma ciência do *design* não está preocupada com a ação em si, mas com conhecimento a ser usado na concepção de soluções, a ser seguida por ação baseada em *design*, (Aken 2004).

Hevner et al. (2004) propõem uma estrutura de *design* de pesquisa propondo etapas claras: (1) Design do artefato; (2) Relevância do problema; (3) Avaliação; (4) Contribuição de pesquisa; (5) Rigor; (6) Design do processo; (7) Comunicação da pesquisa. Essa sequência de etapas fornecem o embasamento necessário para justificar o *design* do artefato, oferecendo uma explicação formal para sua estrutura e funcionamento.

Essa integração é visualizada de forma delineada e conceitual, como um ciclo contínuo de construção e avaliação de artefatos, onde a prática e a teoria se relacionam continuamente, o que a torna relevante para campos como administração e gestão de organizações. Esse aspecto colaborativo garante que as soluções não sejam apenas teóricas, mas também ajustadas às necessidades e restrições do ambiente profissional (Voordik, 2009).

Assim, estratégias de pesquisa em DSR diferem muito daquelas encontradas nas ciências explicativas. Enquanto as ciências explicativas geralmente utilizam experimentos controlados ou estudos observacionais, a DSR inclui uso de estudos de caso múltiplos, bem como, ciclos reflexivos (Aken, 2004; Lacerda, 2013; Dresh, 2014). Nesse sentido, a DSR propõe uma mudança para um panorama prescritivo, de modo que a pesquisa não apenas compreende fenômenos, mas também gera soluções práticas frente aos desafios existentes em ambientes profissionais.

Koskela (2008) ao discutir a relevância da gestão de construção, argumenta que a pesquisa nessa área não pode ser puramente explicativa. Ao contrário, deve fornecer soluções práticas que melhorem a eficiência da produção e da construção. Esse enfoque torna a DSR particularmente útil em áreas como a Engenharia de Produção, onde os problemas são muitas vezes multifacetados e interdisciplinares (Lacerda, 2013).

Hevner (2019) propõe que a pesquisa em *design* possa contribuir para as ambas bases de conhecimento: (1) o conhecimento descritivo ou explicativo, que se refere à compreensão do mundo e dos fenômenos observados; e (2) o conhecimento prescritivo, que consiste em teorias de *design* e regras tecnológicas que orientam a criação de artefatos. Além disso, Hevner (2019) enfatiza que a contribuição nesse campo de pesquisa está amplamente ligada ao conceito de "inovação digital", onde a DSR sugere um meio estratégico para introduzir novas tecnologias no ambiente de trabalho, levando a melhorias no desempenho organizacional, e maior eficiência em processos operacionais.

A partir da análise das características levantadas, e contribuições para a construção de um artefato inovador, com base no alinhamento dos objetivos específicos, é possível delinear o processo a ser seguido, sugeridos por Lukka (2003) e Hevner (2019). As etapas definidas para essa construção são: (1) Revisão de

literatura; (2) Compreensão do problema de pesquisa; (3) Desenvolvimento e aplicação; (4) Análise e validação (Figura 12).



Figura 12: Delineamento de pesquisa. Fonte: O autor, (2024).

Como ponto de partida, esse delineamento conduziu não apenas uma revisão bibliográfica sobre o tema (Documentação *as-built*, com uso de BIM e nuvem de pontos), mas permitiu uma compreensão profunda sobre questões problemáticas associadas a aplicação do processo, em estágios finais de construção. A partir disso, foram identificadas as lacunas nas quais a pesquisa pode ser justificada, bem como, foram reconhecidos elementos que representam um conceito a ser verificado em campo (Dresch, 2014).

Em seguida, enfatiza-se o desenvolvimento de investigações exploratórias, que envolvem ambiente real, buscando um entendimento profundo sobre os fenômenos

operacionais, e fluxos de trabalho. Essa etapa prevê a realização de procedimentos e simulações, divididos em: (1) levantamento de dados; (2) processamento em *softwares* específicos; (3) documentação e; (4) análise, acerca do desenvolvimento de projetos.

Para garantir que os objetivos sejam atendidos, propõe-se a realização de análises e verificações, prevista em pesquisas em *Design Science Research*, para validar se os resultados obtidos solucionam realmente os problemas para os quais foram planejados. A avaliação exige verificar como o artefato se comporta no ambiente para o qual foi projetado, verificando a sua capacidade de atender ao objetivo a que se propôs (Lacerda et al., 2013).

3.2 COMPREENSÃO DO PROBLEMA

A fase de compreensão envolveu a busca de uma lacuna de conhecimento por meio de uma revisão sistemática de literatura, e resultou na elaboração de um roteiro para estruturar o conhecimento pretendido.

3.2.1. Revisão Sistemática de Literatura

O principal interesse de uma Revisão Sistemática de Literatura é a compreensão aprofundada do(s) contexto(s) e o diagnóstico do problema (classe) do mundo real. Ambos se baseiam na nossa compreensão existente do mundo real (e também contribuem para ela no processo), para que os investigadores possam formular ou desenvolver (meta-)requisitos específicos, e avaliar critérios de qualidade se a solução satisfaz o problema existente (Drechsler, 2018).

Nesse panorama, uma RSL deve seguir uma abordagem metodológica clara na organização dos procedimentos pelos quais foi conduzida; abrangente em seu escopo ao incluir o material relevante; e, portanto, reproduzível por outros que desejem seguir a mesma abordagem na revisão do tema (Okoli, 2019).

Para identificação de publicações acadêmicas relevantes, foi determinado um protocolo de busca de artigos científicos, pesquisados em plataformas da *web* e bancos de dados reconhecidos. Buscou-se sintetizar a informação obtida, evidenciando aspectos que interferem na documentação *as-built* ao longo das

principais etapas. A partir dessa visão, procedemos uma investigação sobre as barreiras existentes já identificadas pela literatura, e, ao mesmo tempo, na compreensão da estrutura necessária para aplicação desse tipo de procedimento. O protocolo e os resultados são descritos no Capítulo 4.

3.3 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO

Nesta seção, são apresentadas as técnicas e métodos empregados em cada estudo realizado. A abordagem em DSR é fundamentada em diversos modelos de processos, que geralmente envolvem a realização de pesquisas práticas, e a demonstração de solução para problemas reais. A ciência do *design* cria as ferramentas metodológicas que prescrevem maneiras apropriadas de coletar e analisar evidências, criados pelo homem, que têm valor na medida em que lidam com essa tarefa, de um artefato em seu ambiente (March, 1995).

March (1995) apresenta uma estrutura bidimensional para pesquisa como sistemas de TI - organizações complexas de *hardware*, *software*, procedimentos, dados e pessoas, desenvolvidas para lidar com tarefas enfrentadas por indivíduos e grupos, associadas a ambientes organizacionais. A primeira dimensão é baseada em atividades de pesquisa em *design* e ciências naturais: construir, avaliar, teorizar e justificar. A segunda dimensão é baseada em amplos tipos de resultados produzidos pela pesquisa em *design*: construções, modelos, métodos e instanciações.

No contexto das ciências aplicadas, a pesquisa baseada no DSR contribui para a criação de soluções amplamente aplicadas na prática. Por exemplo, na construção civil, a gestão de projetos envolve desafios que variam desde a alocação de recursos até o controle de qualidade e tempo. A aplicação de princípios do DSR nesta área permite a criação de ferramentas e métodos específicos para resolver esses problemas, como sistemas de gerenciamento de fluxo de trabalho ou novas técnicas de produção (Lacerda, 2013).

Hevner et al. (2004) propõem o modelo de três ciclos para capturar esse equilíbrio. O ciclo de relevância conecta a pesquisa às necessidades do ambiente de aplicação, (Figura 13). O ciclo de rigor, por outro lado, conecta a pesquisa ao corpo teórico existente. O ciclo de *design*, representa a interação dinâmica entre a

construção do artefato e os ciclos de relevância e rigor, enfatizando que o processo de *design* é iterativo, com contribuições práticas e teóricas sendo refinadas continuamente.

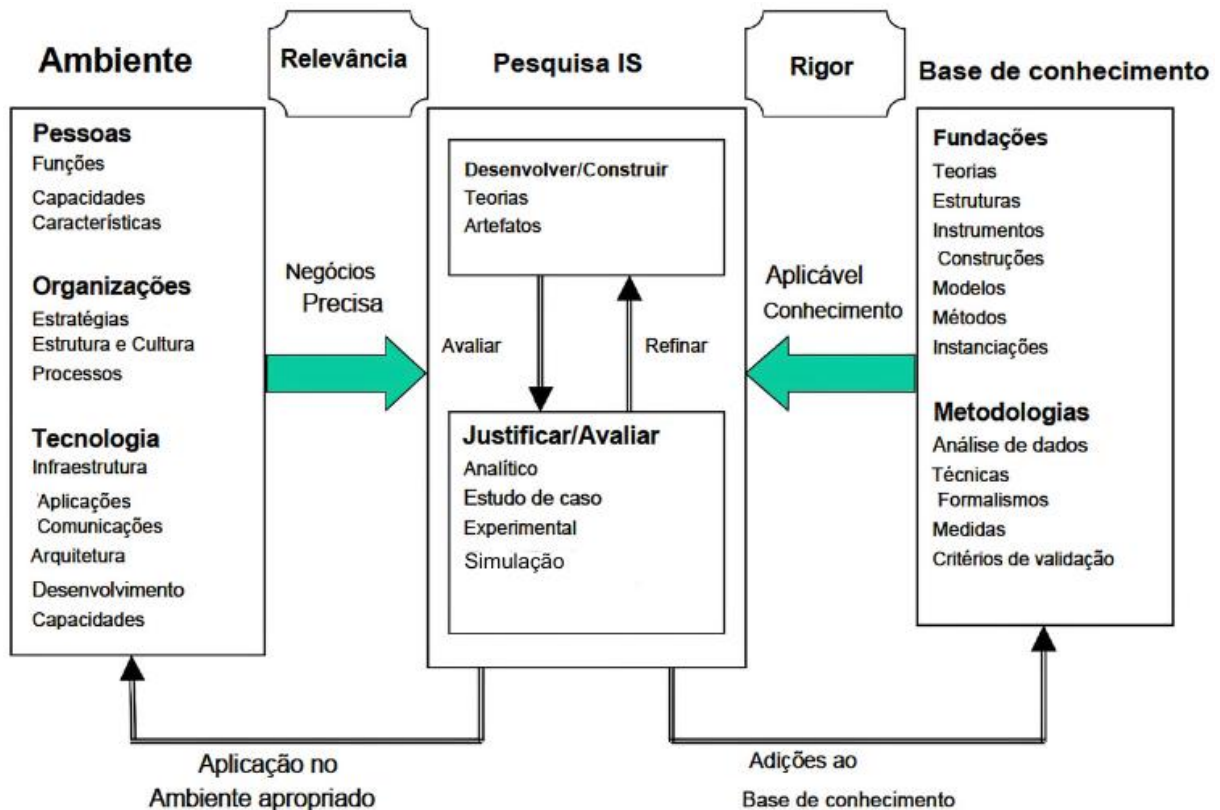


Figura 13: Ciclos de desenvolvimento propostos por Hevner, et al (2004).

Autores reforçam que a pesquisa deve seguir uma metodologia rigorosa, que envolve a construção de artefatos inovadores, avaliação sistemática em contextos de aplicação, e a geração de conhecimento teórico a partir das observações realizadas (Hevner et al, 2004). Nesse caso, o desenvolvimento dessas etapas segue um ciclo de *design*, teste e avaliação, que garante que os artefatos criados não sejam apenas teoricamente válidos, mas também eficazes em contextos reais (Aken, 2004).

Contudo, Hevner et al. (2004) argumentam que pode haver necessidade de uma combinação de diferentes tipos de artefatos para a implementação nas organizações, descrevendo “uma combinação de artefatos baseados em tecnologia (conceituações e representações de sistemas, práticas, capacidades técnicas, interfaces, etc.) e artefatos baseados na organização (estruturas, remuneração, relações de subordinação, sistemas sociais, etc.)

O desenvolvimento desta pesquisa, voltado ao processo de documentação *as-built*, foi estruturado com enfoque abrangente, onde a integração de diferentes áreas de conhecimento, como engenharia, visão computacional, tecnologia da informação e gestão de projetos, interagem para implementação de estudos de casos, para testar sua eficácia em contextos reais, reconhecendo os desafios enfrentados por profissionais.

Além disso, a interação desses sistemas tem o potencial de transformar o contexto controverso de como a documentação *as-built* é conduzida, orientando a criação de soluções para atividades operacionais, com maior desempenho e produtividade, ao longo do ciclo de vida da edificação.

3.3.1. Seleção e treinamento

A seleção de técnicas, equipamentos e *softwares* para a documentação *as-built* envolveu uma análise cuidadosa dos requisitos de cada projeto e das condições encontradas no local, visando garantir maior desempenho no desenvolvimento do processo.

3.3.2 Seleção de Equipamentos

Nas etapas iniciais de levantamento das condições físicas de uma edificação, foram utilizados equipamentos como VANT'S e dispositivos móveis. Esses instrumentos, incluem recursos de captura, sensores, que interagem abertamente com sistemas interativos e plataformas na *web*, para operações tanto em ambientes internos como externos. A seguir destacamos os instrumentos empregados nos estudos de casos em: (1) ambiente externo; e (2) ambiente interno.

Ambiente externo: Foi utilizado um VANT modelo comercial *DJI Mavic Air 2*¹², lançado em 2019. Este equipamento possui funções de voo autônomas incluindo sensores de obstáculos em ambas direções, bem como, baterias com duração média

¹² Mavic Air 2 - Central de downloads - DJI <https://www.dji.com/br/downloads/products/mavic-air-2>.

de 27:00 minutos. Inclui uma câmera fotográfica, com sensor CMOS de ½ polegada, de 48 megapixels, para captura de imagens em alta resolução (Figura 14).

Especificações	Detalhes
Dimensões.....	183x253x77mm (comprimento x largura x altura)
Peso.....	570g
Duração Max de voo.....	33 min
Frequência de funcionamento.....	2,4 GHz / 5,8 GHz
Resolução de imagens.....	4000x3000
Sensor.....	Equivalente a 24mm /CMOS 1/2"

Figura 14: Mavic Air 2. Fonte: <https://www.lojadji.com.br/drones-com-camera/linha-air>, (2024).

Uma das vantagens desse modelo é a capacidade de mudar automaticamente entre canais de 2,4 GHz e 5,8 GHz, garantindo que o VANT use o canal de comunicação mais adequado, conforme as interferências do ambiente externo. Isso oferece uma conexão mais segura e confiável durante o voo.

Ambiente interno: O uso de dispositivos móveis, como *smartphones* foi escolhido para efetuar a captura de dados em ambientes internos. O sensor *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia da série Pro da Apple, disponível a partir do modelo iPhone 12 Pro (Figura 15).



Figura 15. Iphone Scanner laser (2024). Fonte: (interestingengineering.com).

O *LiDAR* permite que aplicações de AR (realidade aumentada) adotem um reconhecimento espacial, para gerar modelos tridimensionais em tempo real, utilizando luz infravermelha, invisível ao olho humano, com alcance aproximadamente de 5 a 6 metros. Essa tecnologia, foi adaptada para melhorar recursos virtuais como a realidade aumentada (AR), permitindo uma ampla gama de aplicações.

3.3.3 Seleção de Softwares

A escolha dos *softwares* nessa pesquisa, considerou a capacidade de processamento de dados e a facilidade de integração com outros programas, além da comunicação com plataformas reconhecidas pelos profissionais da área, como CAD e BIM. Na Figura 16 são listados os *softwares* utilizados na pesquisa.



DroneHarmony: é uma aplicação interativa voltada para o planejamento automatizado de missões de voo, sendo particularmente útil em operações com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS). Ele foi utilizado para pré-determinar uma rota de voo, em ambiente externo de edificação em construção.



Agisoft Metashape: é um programa utilizado no processamento de dados de fotogrametria digital. Ele adota um processo para reconstrução fotogramétrica, que consiste na transformação de um conjunto de imagens, para processá-las, e criar modelos 3D, inclusive nuvens de pontos por meio de imagens fotográficas.



Polycam: é uma aplicação disponível para sistemas operacionais IOS, e plataformas da *web*, que permitiu a captura de dados e o processamento de modelos tridimensionais em tempo real. O aplicativo é gratuito para teste, porém requer assinatura para exportar dados em formatos compatíveis com *softwares* de modelagem 3D. Para esse estudo, foi obtida uma licença na versão educacional por um ano. Sua vantagem está na portabilidade e disponibilização de diferentes formatos, além da captura de dados sem exigir equipamentos complexos, e custos exorbitantes.



Autodesk Recap: é uma ferramenta da Autodesk, que permite manipular e tratar modelos 3D a partir de nuvens de pontos, utilizado geralmente para eliminar dados indesejados, presentes na cena. Ele processa nuvens de pontos e malhas que podem ser vinculadas a *softwares* de modelagem, como o Autodesk Revit e AutoCAD.



Autodesk Revit Architecture: é uma ferramenta utilizada para documentação de projetos com tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). Ele é um *software* paramétrico que permite a criação de modelos tridimensionais de diferentes disciplinas, extrair informações associadas aos objetos, como materiais, dimensões, especificações técnicas e custos.

Figura 16: *Softwares* utilizados na pesquisa. Fonte: O autor (2024).

3.3.4 Treinamento

A capacitação no uso de dispositivos e *softwares* foram fundamentais para garantir controle durante as etapas da documentação *as-built*. A especialização do pesquisador em *software* BIM foi obtida durante a graduação em arquitetura, por meio de treinamento presencial realizado em 2011, além de vídeo aulas em plataformas *online*. Esse treinamento foi essencial para domínio técnico e profissional.

Competências com o VANT, ocorreram de maneira individual pelo pesquisador, meados de 2019, quando o equipamento foi adquirido, foram realizados estudos de casos preliminares, que ajudou na aprendizagem, reconhecer as limitações e as funcionalidades do equipamento.

Softwares como DroneHarmony e Polycam foram explorados ao decorrer da pesquisa, por meio de tutoriais disponíveis nas próprias plataformas da *web*. Além disso, a leitura de manuais técnicos garantiu uma compreensão mais ampla das funções de cada ferramenta.

A prática em estudos preliminares foi essencial para a adaptação e para o desenvolvimento de habilidades no uso de *softwares* e equipamentos. Essas atividades exploratórias permitiram o pesquisador adquirir experiência com fluxos de trabalho inovadores.

3.3.5 MÉTODOS, TÉCNICAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A parte aplicada estabelecida nessa pesquisa, direciona o conhecimento na concepção de artefatos, para solucionar questões operacionais em processos de documentação *as-built*. A segunda fase, compreendeu o desenvolvimento estudos de caso em edificações em estágios de construção.

No total foram realizados quatro estudos de caso, dois deles com caráter exploratório. Os estudos 1 e 3 tiveram foco em ambiente externo; já os estudos 2 e 4 focaram em ambiente interno.

3.4.1 Estudo de caso 1

Este estudo de caso explorou a aplicação de levantamento fotogramétrico aéreo em ambiente externo de construção, descreveu as principais etapas do processo, bem como as características operacionais que determinaram a sequência lógica das atividades, pertinentes a documentação de projetos.

A aplicação pratica ocorreu na empresa denominada A, uma construtora reconhecida por sua aptidão na elaboração de projetos e execução de empreendimentos imobiliários, e pelo padrão entregue nas suas construções. Como parte de sua busca contínua por maior desempenho, a empresa optou por incorporar um levantamento aéreo com técnica baseada em fotogrametria digital, na tentativa de melhorar suas operações na coleta de dados.

Após elaborar um planejamento da atividade, definir as necessidades e solicitações por parte da empresa, foi determinada uma área de interesse. A sequência de atividades, inicialmente, incluiu medições com técnicas tradicionais, para obter dimensões reais. As medidas, foram obtidas por uma trena métrica a *laser*, para posteriormente serem comparadas com técnicas otimizadas.

Em ambiente externo da construção, as imagens foram capturadas pelo VANT. O pesquisador observou fatores climáticos e iluminação externa, visto que fatores externos influenciam na qualidade do processamento subsequente. Os dados coletados foram processados no *software* Agisoft Metashape, e exportados para limpeza e tratamento de ruídos (pontos indesejáveis) no Autodesk ReCap Pro.

A seguir, a reconstrução BIM foi executada no *software* Autodesk Revit, onde a geometria tridimensional da nuvem de pontos 3D foi sobreposta ao modelo BIM existente, para fins de verificação de diferenças e erros médios. O fluxo de trabalho no Autodesk Revit pode ser descrito como, visualizações, comparações dimensionais entre modelo planejado vs nuvem de pontos 3D. A comparação final possibilitou a validação do método otimizado.

A sequência de atividades foi dividida em: (1) planejamento; (2) Aquisição de dados; (3) Processamento; (4) Reconstrução BIM; (5) Análise e verificação (Figura 17).

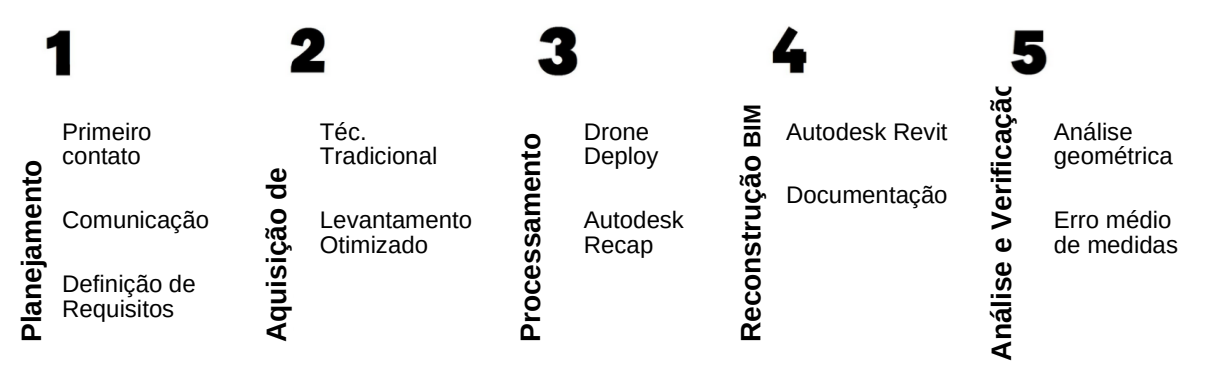


Figura 17: Etapas para estudo de caso em ambiente externo. Fonte: Autor, (2024).

3.4.2 Estudo de caso 2:

O estudo exploratório 2 foi desenvolvido em colaboração com uma empresa denominada B, localizada na cidade de Pelotas/RS, especializada na fabricação e instalação de tubulações hidrossanitárias, em edificação multifamiliar de grande porte. Nesse caso, foram desenvolvidas aplicações otimizadas de levantamento de dados, em ambiente interno de apartamento em fase de construção.

A primeira etapa envolveu o planejamento. Por meio de encontros presenciais entre os envolvidos, foram identificados os requisitos, reconhecimento da estrutura organizacional da empresa e especificações para aprimoramento do fluxo de trabalho e verificações finais, após a instalação dos componentes.

A aquisição de dados, nessa fase combinou métodos tradicionais com uso de trena *laser* e captura de dados com dispositivo móvel, onde se utilizou o *smartphone* iPhone 12 Pro e aplicativo Polycam (baseado na *web*), para capturar e processar dados obtidos do ambiente interno.

Após a coleta de dados, os dados digitalizados serviram de entrada para a reconstrução BIM, mediante *software* Autodesk Revit e convertidos em modelos de informação, com intuito de obter a documentação *as-built*. A etapa final envolveu meios para verificação e validação de dados, visualizações tridimensionais, análises geométricas e posicionais foram aferidas, para adequação dos documentos criados.

A sequência das atividades em ambiente interno foi dividida em: (1) Planejamento; (2) Aquisição de dados; (3) Reconstrução BIM; (4) Análise e verificação (Figura 18).

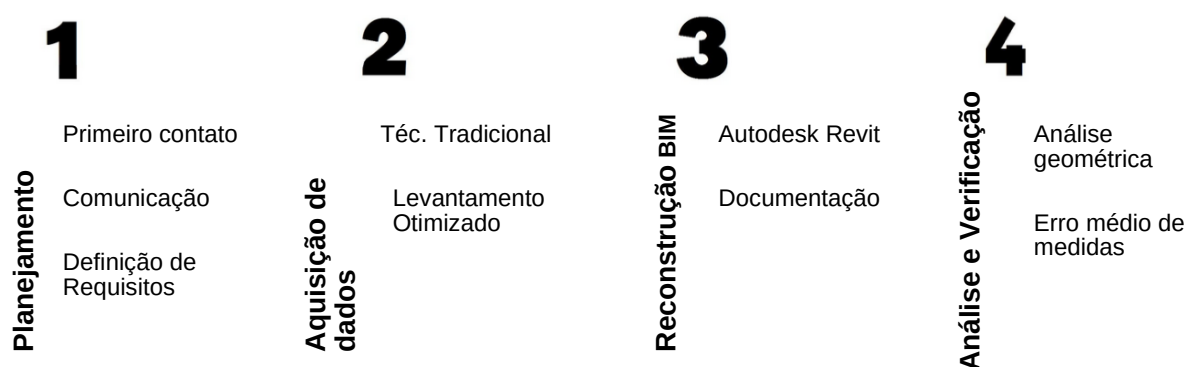


Figura 18. Etapas para estudo de caso em ambiente interno. Fonte: Adaptado pelo autor, (2024).

O processo de documentação *as-built* em ambientes internos de construção é voltado para captura/processamento otimizado de dados, garantindo o registro dos componentes construídos para posteriormente serem documentados.

A partir da reflexão das lições aprendidas nos estudos 1 e 2, foi proposto um conjunto de diretrizes com as principais questões a serem consideradas para otimizar o processo de documentação *as-built*. Estas diretrizes guiaram o desenvolvimento dos estudos de caso 3 e 4.

3.4.3. Estudo de caso 3

O estudo foi realizado em uma edificação multifamiliar em construção, na cidade de Santa Maria/RS. A empresa denominada C, atua desde 2017 na construção de edifícios com objetivo de entregar empreendimentos com padrão de qualidade e custo benefício.

A principal finalidade deste estudo de caso, foi demonstrar técnicas de levantamento de dados e processos de documentação *as-built*. A atividade iniciou com uma reunião entre o pesquisador e o engenheiro da obra, onde foram discutidas expectativas, locais de interesse a serem levantados, itens e datas a serem entregues.

Definiu-se a área externa do bloco residencial, visando identificar desvios em relação ao projeto inicial e estabelecer procedimentos para representar as condições reais da construção. A aquisição de dados ocorreu em dois momentos. Primeiramente, realizou-se um levantamento manual com trena métrica a *laser*. Em seguida, utilizou-se um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para coletar imagens aéreas da área em construção.

O conjunto de imagens capturadas foram processadas na plataforma *web* Polycan, especializada em fotogrametria digital. Foi necessária a correção da escala do modelo 3D com base nas medições feitas no local, antes do processo de exportação.

Os dados capturados foram integrados ao *software* Autodesk Revit, utilizando nuvens de pontos em formato 3D, o que facilitou a reconstrução do ambiente em um modelo digital. Esta etapa, embora manual, foi essencial para representar fielmente as condições físicas da construção. Na fase final de análise, as medidas obtidas com técnicas tradicionais foram comparadas com técnicas baseadas em fotogrametria, de modo que, o erro médio foi verificado.

3.4.4 Estudo de caso 4

Este estudo de caso explorou o uso de dispositivos móveis equipados com sensores *LiDAR* para a captura das condições físicas de uma edificação, e modelagem BIM (*Building Information Modeling*) especificamente em um apartamento, em fase de construção, na cidade de Santa Maria/RS. A empresa D atua desde 2006 no ramo da construção civil, referência em execução residencial e predial, com foco na inovação, segurança e qualidade, no processo construtivo de seus empreendimentos.

Dois encontros iniciais entre o pesquisador e o engenheiro responsável ajudaram a compreender a organização da empresa e a viabilidade do método proposto. Realizou-se a coleta de dados de duas maneiras. Primeiro, com o levantamento tradicional usando uma trena métrica a *laser*, em seguida, realizou-se a captura otimizada utilizando o dispositivo móvel com o aplicativo Polycan, que permitiu a digitalização do ambiente em menos tempo e com maior precisão.

Os dados capturados foram integrados ao software Autodesk Revit, utilizando nuvens de pontos em formato 3D, o que facilitou a reconstrução do ambiente em um modelo digital. Esta etapa, embora manual, foi essencial para representar fielmente as condições físicas do apartamento. A partir disso, compararam-se as dimensões entre os dois métodos (tradicional e otimizado), demonstrando a precisão do uso de dispositivos móveis.

3.4 ANÁLISE E VERIFICAÇÃO

Esta fase compreendeu a validação da pesquisa construtiva, na qual os dados provenientes dos dois primeiros estudos exploratórios foram reunidos e analisados, visando o aperfeiçoamento, onde o conjunto de diretrizes é apresentado, para otimização do processo de documentação *as-built*. Os primeiros estudos de casos, 1 e 2, se relacionam com a terceira fase da *Design Science Research*, consistindo no entendimento teórico e prático do tópico de pesquisa.

Esta etapa de validação incluíram reuniões e discussões, semi estruturadas entre o pesquisador e os representantes das empresas (engenheiros), para obter retornos sobre os procedimentos realizados. O tema das entrevistas e avaliação de

desempenho das abordagens adotadas, ocorreu mediante questionamentos sobre a facilidade de uso, eficácia geral da solução, e adequação as suas necessidades organizacionais.

De acordo com March e Smith (1995), os modelos propostos devem ser avaliados quanto à utilidade do artefato, levando em conta seus impactos no ambiente e nos usuários. Portanto, o artefato proposto foi avaliado com base em dois critérios: (a) a utilidade propriamente dita e (b) a facilidade de uso.

A partir disso, a análise e verificação do artefato foi realizada ao final de cada estudo de caso desenvolvido, onde foram comparados os resultados obtidos com o método proposto e os métodos convencionais. A avaliação requer o desenvolvimento de métricas e a medição de artefatos de acordo com essas métricas. Elas são usadas para avaliar o desempenho de um artefato, March e Smith (1995).

Essa fase de avaliação, possibilita a adaptação do artefato para contextos futuros, refinando o processo iterativo da *DSR* e gerando conhecimentos relevantes para profissionais e organizações. O ciclo reflexivo de desenvolvimento e verificação contínua do artefato permitirá adequações, conforme necessário, para atingir os objetivos de forma satisfatória.

4. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Com o intuito de aprofundar o conhecimento desta pesquisa, foi elaborada uma revisão sistemática da literatura (RSL), delineada nas próximas seções em relação ao protocolo utilizado, procedimentos de coleta de dados e resultados preliminares. Na seção 4.1, são apresentados os procedimentos metodológicos de revisão sistemática da literatura. Os resultados estão dispostos na seção 4.2.

4.1. PROTOCOLO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA

A estrutura de revisão adotada seguiu o protocolo preconizado pelo método PRISMA (PAGE et al., 2022), que apresenta um fluxograma composto por três fases organizadas como se segue: 1) identificação; 2) triagem: seleção crítica e elegibilidade; e 3) inclusão dos artigos (MOHER et al., 2015). Esse protocolo foi implementado utilizando o sistema Parsif.al (PERFORM SYSTEMATIC LITERATURE REVIEWS).

4.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta revisão sistemática é conduzir uma investigação abrangente sobre o processo de documentação *as-built*, selecionando trabalhos relevantes publicados em bases de dados reconhecidas. Este estudo visa realizar uma análise crítica da natureza dos problemas associados à documentação *as-built*, bem como avaliar as evidências disponíveis em relação à questão de pesquisa.

Além disso, pretende-se identificar lacunas na literatura existente e fornece recomendações para futuras pesquisas e práticas no campo da documentação *as-built*, buscando melhorar eficiência e a utilidade dessa documentação em projetos voltados a profissionais e organizações da indústria da construção.

4.1.2 Definição das questões de pesquisa

Foram definidas as seguintes questões para nortear a busca de conhecimentos nos estudos investigados:

- 1 – Quais são as principais etapas necessárias para elaboração de documentação *as-built*?
- 2 - Quais são as tecnologias envolvidas com relação à utilização de nuvem de pontos e BIM?
- 3 - Quais trabalhos apresentam relevância teórica/científica e sugerem melhorias práticas?
- 4 - Quais são os principais desafios enfrentados no processo de documentação *as-built*?

4.1.3 Estratégias de busca e Base de Dados

As bases de dados foram selecionadas por meio de plataformas *online* reconhecidas, que abrangem campos de pesquisas como, ciências sociais, inovação tecnológica e visão computacional, sendo selecionadas: Periódicos da Capes (I), Scielo (II), Science Direct (III), Scopus (IV), Web of Science (V), Academia.edu (VI), e ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) (VII).

O processo de seleção de artigos científicos, envolveu uma abordagem quantitativa, para obter uma visão mensurável e clara do conhecimento disponível. Para efeito, foram definidas *string's* de busca, determinando palavras-chave essenciais que estão presentes nessa pesquisa:

("Building information modelling" OR "Building information modeling" OR "BIM") AND ("As Built" AND "Point Cloud").

A partir dessa definição, o protocolo elaborado foi inserido na plataforma Parsif.al.com, uma interface avançada que auxilia a triagem de trabalhos, e favorece pesquisadores na gestão e controle sobre as etapas iniciais da revisão. Esse estágio inicial exigiu atenção do pesquisador, na intenção de responder aos critérios, em concordância aos objetivos, durante a classificação e tratamento dos resultados obtidos.

4.1.4 Critérios de inclusão e exclusão de artigos:

Critérios de inclusão:

- a. Devem ser artigos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas ou em versões impressas.
- b. Devem ser trabalhos recentes (publicados entre 2013-2023).
- c. Os trabalhos devem tratar sobre etapas no desenvolvimento de projetos.

Critérios de exclusão:

- a. Serão excluídos trabalhos publicados como artigos curtos ou pôsteres.
- b. Serão excluídos trabalhos duplicados.
- c. Serão excluídos trabalhos que falam sobre: sensoriamento remoto, documentação de pontes e túneis, topografia, arqueologia.

4.1.5 Processo de seleção preliminar:

Os artigos selecionados para esta revisão sistemática foram publicados entre 2013 e 2023, nas principais bases de dados em áreas do conhecimento como: tecnologia, sistemas de informação, sensoriamento remoto e fotogrametria, refletindo uma década de avanços em pesquisas.

A primeira fase de seleção objetivou a busca de artigos científicos em plataformas online de dados reconhecidas, ao encontro de trabalhos que se coincidem com a temática proposta, resultou em uma lista de 1240 artigos científicos, selecionados inicialmente.

A significativa quantidade de artigos foi gerenciada na plataforma Parsif.al, por meio de um processo detalhado de seleção. Após a leitura dos títulos e palavras-chave, esse número reduziu a 253 artigos, focando em tópicos que atendiam aos requisitos estabelecidos. Essa fase foi fundamental para garantir que apenas estudos relevantes e qualificados fossem considerados para análise detalhada, sendo que 34 estavam duplicados.

Após examinar detalhadamente, 74 artigos científicos foram selecionados para compor a revisão sistemática. Esses artigos passaram por uma revisão mais aprofundada, confirmando sua relevância e compatível com os objetivos da pesquisa. (Tabela 2).

Tabela 02: Dados preliminares Fonte: O autor.

Fases	Base de dados	Fonte de buscas	Número de Artigos
Fase 1	Todas	Título do Artigo, Palavra-chave	1240
Fase 2	Todas	Resumo do Artigo	253
Fase 3	Todas	Revisão do texto	74

Tabela 03: Trabalhos aceitos. Fonte: O autor.

Base de dados	Selecionados	Aceitos	Rejeitados	Duplicados	Endereço eletrônico
Acadêmica.edu	41	8	27	6	(https://www.academia.edu)
Google Acadêmico	64	14	28	22	(https://scholar.google.com.br)
ISPRS	42	12	29	1	(https://www.isprs.org)
MDPI	32	8	23	1	(https://www.mdpi.com/search)
Periódicos da CAPES	36	22	11	3	(https://www-periodicos-capes-gov-br)

Scielo	7	1	6	1	(https://www.scielo.br/?lng=pt)
Web of Science	30	9	21	0	(https://www.sciencedirect.com/)

Recentemente, houve um aumento significativo na utilização de técnicas automatizadas de levantamento de dados, destacando-se o uso de *laser scanner* e técnicas de fotogrametria aérea, utilizando o Vant, associados à tecnologia BIM. A plataforma Academia.edu, é uma rede para compartilhamento de trabalhos acadêmicos, onde encontrou-se pesquisas em diferentes estágios, desde a construção, operação em edificações e reconstrução 3D de edifícios históricos.

O Google Acadêmico, foi a plataforma com mais pesquisas duplicadas, serviu para selecionar artigos que poderiam ter sido inicialmente ignorados, destacando maior concentração de pesquisas BIM *as-built* em estágios de construção, especificamente no monitoramento do progresso por meio de fluxos de trabalho *Scan-vs-BIM*, além de estudos em estágios pós-construção em ambientes internos.

A ISPRS¹³ (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) é uma organização não governamental dedicada ao desenvolvimento e cooperação para o avanço da fotogrametria. Suas publicações possibilitaram encontrar pesquisas recentes entre os anos de 2019 e 2022. Além da fotogrametria, revelam campos de pesquisas focados em operações com nuvens de pontos, voltados ao processamento e reconstrução 3D. Apesar disso, muitos trabalhos foram rejeitados por se tratarem de outras áreas, como sensoriamento remoto, topografia, entre outras.

A plataforma MDPI (*Multidisciplinary Digital Publish Institute*) destacou estudos sobre verificação geométrica de nuvens de pontos e reconstrução BIM *as-built*, reunindo métodos automatizados para controle de qualidade durante a construção. Além disso, apresentou poucos trabalhos duplicados, destacam-se verificação em estruturas usando *laser scanner*, e metodologias *Scan-to-BIM*, reconstrução em ambientes internos, formam a base da MDPI para essa revisão.

¹³ Publications (isprs.org).

O portal de Periódicos da CAPES¹⁴ (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) evidencia maior diversidade de estudos, com maior incidência em técnicas de fotogrametria aérea e fluxos de trabalho BIM *as-built*, abordando também gerenciamento e controle de qualidade. Foi a base de dados com mais artigos aceitos, salientando a utilização de conteúdo de acesso livre e diversificado, com títulos nacionais e internacionais.

A base de dados Scielo apresentou pesquisas recentes em levantamentos automatizados e processamento de nuvens de pontos com recursos interativos, demonstrando abordagens mais autônomas e eficientes.

4.2 Resultados

Esta revisão sistemática explorou de maneira abrangente o processo de documentação *as-built*, identificando os principais desafios baseados em uma análise detalhada sobre os estudos existentes. A revisão foi dividida em seis tópicos: (1) Documentação *as-built*; (2) Planejamento; (3) Aquisição de dados; (4) Processamento; (5) Reconstrução BIM; (6) Análise e verificação.

Na primeira parte, é apresentada uma visão geral dos conceitos básicos onde são discutidas questões problemáticas no processo de documentação *as-built*. Esta seção serve como base para entender as complexidades envolvidas na criação desse tipo de documentação. A segunda parte aborda etapas de planejamento, esclarecendo elementos organizacionais e administrativos que dificultam o processo de documentação *as-built*. A falta de coordenação entre as equipes, a ausência de uma comunicação eficaz e os desafios na gestão de tempo e recursos são alguns dos tópicos explorados.

Na terceira parte, a fase de aquisição de dados é o foco principal. São discutidos os aspectos que comprometem o levantamento de dados, especialmente com o uso de técnicas como fotogrametria aérea e dispositivos móveis equipados com sensores *LiDAR*. As dificuldades relacionadas ao ambiente, aos equipamentos e às

¹⁴ [Portal .periodicos. CAPES - Portal .periodicos. CAPES.](#)

limitações técnicas são analisadas. A etapa de processamento de dados, aborda aspectos críticos, como a necessidade de recursos computacionais e a complexidade dos *softwares* utilizados.

Na quinta parte, é considerada a reconstrução BIM, abordando as limitações que ocorrem na documentação e o vínculo entre a nuvem de pontos e a tecnologia BIM. A seção conclui com uma análise das dificuldades encontradas na verificação e análise dos dados, destacando as incidências mencionadas nas investigações e propondo recomendações para futuras pesquisas e práticas no campo da documentação *as-built*.

4.3 Documentação *As-built*

As etapas de documentações *as-built* destinam-se a conter todas as informações relevantes sobre a edificação construída para os participantes (Tuttas e Borreman 2015). Essas representações servem como uma base de dados sobre as modificações realizadas, fornecendo detalhes importantes para que agentes envolvidos possam obter esclarecimentos técnicos sobre qualquer mudança no projeto (Abbas, 2017).

Nesse cenário, tarefas de revisões devem ser realizadas regularmente, prevendo conferências dimensionais contínuas em instalações, acerca de renovações e acréscimos de áreas ocorridos (Usmani, 2019). É essencial que profissionais garantam a precisão das modificações em modelos finais, para que proprietário e usuários finais não encontrem informações incompatíveis em projetos (Bosché, F. 2015). Essas informações são importantes não apenas para o gerenciamento em questão, mas servem como ferramentas valiosas para manutenções, reformas, entre outras intervenções.

Diante disso, podem existir situações que comprometem etapas do desenvolvimento de projetos. Em maior parte, métodos tradicionais de documentação, usualmente não são eficientes porque dependem de verificações manuais para garantir que a construção atenda às especificações previstas em projeto (Bosché, F. 2014; Tuttas, 2015; Abbas, 2017). Ainda que procedimentos tradicionais envolvam tarefas demoradas e repetitivas, tornam verificações mais trabalhosas e medições

subjetivas para rastrear desvios e inconsistências em componentes construídos (Golparvar, 2015; Bassier, 2017).

Cada desvio de processo e atrasos na entrega deve ser contabilizado no projeto, porque assim nenhuma decisão importante pode ser tomada sem consultar os registros contidos nas informações existentes (Freimuth, 2018). Nada obstante, uma das impressões imediatas deste documento é o número de ressalvas que ele contém, em relação à geometria e como os projetos se desviam da realidade construída (Thomson, 2015; Freimuth, 2019).

Autores concordam que os processos são afetados pela falta de documentos apropriados da edificação, frequentemente desatualizados (Abbas, 2017; Bassier, 2017; Lin, 2018). Procedimentos automatizados são interrompidos pela falta de dados, bem como, caracterizam-se por altos custos e dificuldades para registrar falhas, causadas por elementos estruturais erroneamente construídos (Golparvar, 2015; Bassier, 2020).

Por exemplo, projetos onde a documentação é imprecisa e inconsistente, podem causar incompatibilidade e atrasos em atividades, não apenas a usuários finais, mas todos os intervenientes envolvidos na concepção (Usmani, 2019; Hansen, 2021). De qualquer forma, plantas baixas desatualizadas podem ser atualizadas por meio de tarefas de engenharia reversa (um processo de rastreamento que registra as condições *as-built* de uma edificação e reconstrói um modelo digital) para criar elementos paramétricos BIM (Kim, 2023).

Entretanto, os principais problemas que interferem na documentação *as-built*, até o momento, foram organizados e apresentadas na Figura 19.

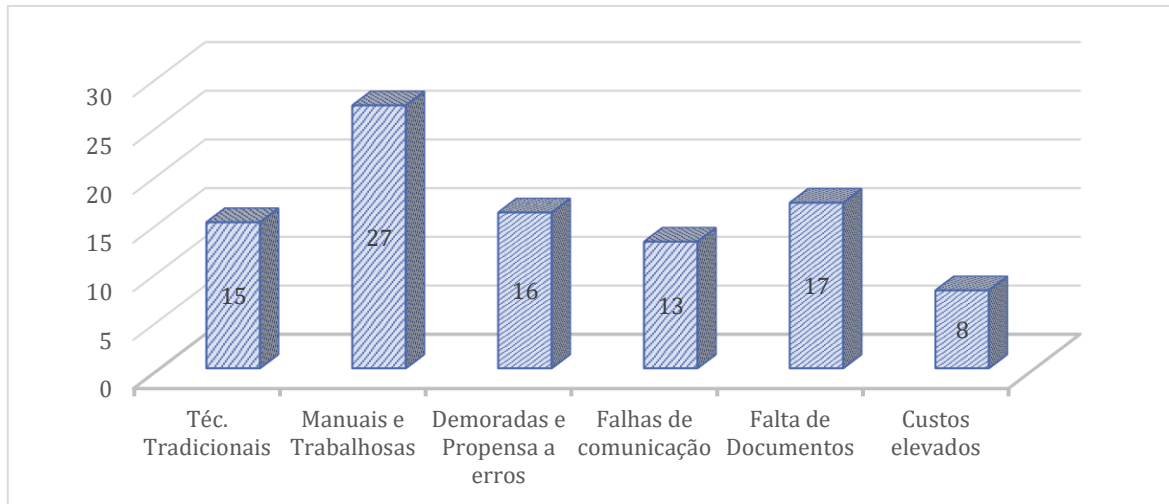


Figura 19: Problemas associados ao processo de documentação *as-built*.

Fonte: O autor, (2024).

A análise dos dados revela que as práticas manuais e trabalhosas representam a maior incidência dos problemas mencionados. Em segundo lugar, a falta de documentos apropriados, evidencia a carência de documentação adequada, que resultam em inconformidade e imprecisão em documentos.

Técnicas tradicionais, destacam que, apesar do avanço tecnológico, as organizações ainda dependem de métodos convencionais, devida à falta de acesso e a resistência as novas tecnologias. Por outro lado, problemas relacionados à demora, exibem um fator crítico onde os processos, não só demandam muito tempo, mas também são vulneráveis a erros. Essa questão pode ser um sinal de práticas ineficientes e a necessidade de adotar processos inovadores para complementar e aumentar a precisão dos métodos existentes.

A seguir revisaremos contribuições em áreas que envolvem a documentação *as-built*, integradas a tecnologia BIM.

4.4 Documentação BIM *as-built*

Pesquisas ligadas aos processos de documentação *as-built*, com uso de BIM, revelam oportunidades e melhorias para o fluxo de trabalho de projetos, em estágios da construção da edificação.

Bosché (2015) desenvolve uma abordagem voltada ao processo *Scan vs BIM*, para reconhecer e identificar componentes hidráulicos (tubos cilíndricos), e analisar alterações que ocorrem em canteiro de obras. O autor compara dados debitados da nuvem de pontos 3D com o projeto planejado mediante alinhamento geométrico, bem como, informa as diferenças entre componentes, para atualizar modelos BIM, e gerar documentos confiáveis para usuários finais.

Tuttas (2014) e Tuttas (2017) apresenta uma abordagem que integra conceitos de fotogrametria para gerar BIM *as-built*, com foco no progresso da construção. O autor explica que o estado *as-planned* (planejado) é derivado de um modelo BIM existente, que contém a geometria do edifício, e o estado *as-built* é representado pela nuvem de pontos 3D, para verificar divergências entre os modelos.

Golparvar, (2015) investiga abordagens para monitoramento do progresso baseado *as-built* BIM 4D. Usando técnicas de fotogrametria digital, com imagens diárias do canteiro de obras, emprega recursos computacionais avançados para reconstrução 3D, e realiza comparação entre modelos BIM e nuvem de pontos para automatizar o monitoramento do progresso.

Kim (2019) revisa a relação do processo *Scan to BIM*, voltado para condenação e análise de elementos estruturais, durante a construção. A metodologia BIM *as-built*, é simplificada em cinco etapas para manter um banco de dados atualizado: (1) planejamento; (2) Aquisição de dados; (3) Registro e alinhamento; (4) Integração de Nuvem de pontos com BIM; (5) Análise de dados.

Freimuth (2019) visa desenvolver um método novo para medir as condições *as-built* utilizando Vant's autônomos. As nuvens de pontos capturadas, são usadas para a reconstrução e análise do modelo *as-built*, integrando dados de localização e informações das estruturas construídas para automação completa do processo.

López (2019) investiga a norma ISO 19157, para orientar o controle de qualidade para modelos BIM. A norma define padrões e conformidade de dados, referente a informações geométricas, dimensões, identidade, uso, localização,

restrições, componentes, de modo que, requisitos de qualidade sejam atendidos, e estabelecidos em entregas de documentos BIM *as-built*.

Kim (2020) propõe um método eficaz para coletar dados *as-built*, e melhorar o monitoramento do progresso e gerenciamento de projetos. A proposta permitiu visualizar e quantificar e avaliar o andamento de serviços. Os estudos de Kim (2020) utilizam equipamentos como *laser scanners* e Vants durante o levantamento, e após processamento, nuvens de pontos foram comparadas a modelos BIM projetados. As contribuições demonstram benefícios para o monitoramento geral do projeto, a análise de produtividade do projeto de construção, e a verificação da qualidade.

Rausch (2021) fornece uma maneira para capturar condições construídas e representá-las em BIM automaticamente, prevendo conflitos de montagem, e atualizando a geometria com bases em estruturas de concreto, em canteiro de obras. Kim (2021) desenvolve um método para gerar BIM *as-built* automatizado que visa classificar, segmentar elementos 3D, extrair e modelar a geometria exata para análise estrutural, manutenção de instalações. Avalia o desempenho de dispositivos como *Laser scanners* para coletar dados do canteiro de obras, e recursos avançados para processamento de dados, com base em nuvens de pontos 3D.

Meyer (2023) apresenta um método para verificação geométrica de modelos BIM utilizando nuvens de pontos fotogramétricas em ambientes internos. As contribuições conduzem meios para identificar desvios e indicadores de qualidade, bem como, critérios para tomada de decisões e análise do progresso, essencial para que os modelos BIM representem base de dados para gerenciamento e controle em projetos de construção.

A tecnologia BIM, tem sido utilizada para garantir que projetos estejam alinhados com a realidade construída, e compartilhar informações no decorrer do ciclo de vida da edificação. Todavia, estágios pós-construção também contribuem para otimização e documentação de projetos em edifícios existentes, bem como, fases de manutenção e operação.

Dois trabalhos de Jung (2014 e 2018), sugerem uma metodologia semiautomática em ambientes internos amplos e complexos, ressaltam a importância de algoritmos computacionais para interpretar dados em ambientes desordenados,

com obstáculos. Já Becker (2015) propõe a reconstrução de modelos BIM *as-built* automatizados, orientados por algoritmos iterativos, em ambiente interno.

Wang (2015) utiliza tecnologia BIM para gerar modelos *as-built*, para extrair automaticamente geometrias em edificações existentes. A abordagem enfoca na validação do desempenho e viabilidade técnica, para acelerar a construção de modelos BIM.

Bassier (2016) apresenta uma estrutura, ligada ao gerenciamento de ativos, para atualização de projetos de edifícios existentes. Utilizam *softwares* comerciais, e recursos robustos no processamento e reconstrução automática de BIM - *as-built*, e demonstra resultados promissores para criar modelos precisos e confiáveis. Abbas (2017) explora estudos de casos práticos para comprovar a capacidade do BIM, para detecção de conflitos entre projetos, minimizando tarefas como alterações, no decorrer documentação final, em edifícios existentes.

Usmani (2019) apresenta um fluxo de trabalho estruturado para criar a documentação BIM *as-built*, orienta que o processo da construção de um modelo 3D, pode ser dividido em três partes: (1) aquisição, (2) segmentação e (3) modelagem. Esses documentos são continuamente verificados, principalmente no processo de planejamento inicial, para que todas as mudanças sejam representadas. Corroborando esse processo, Xie e Lei (2019) destacam uma metodologia para gerar plantas 2D e modelos 3D em ambiente interno com nuvem de pontos obtidas por dispositivos a *laser* terrestres e móveis.

Briceño (2021) propõe uma metodologia para planejamento da manutenção. A proposta fornece recomendações voltadas para edificações existentes e situações de difícil acesso para a aquisição de dados 3D. O autor usa a fotogrametria aérea como base para reconstrução de modelos BIM, permitindo identificar requisitos de manutenção e atualização constante relativa ao estado dos elementos estruturais.

Por fim, podemos observar que o termo *as-built* é investigado em diferentes campos ao longo do ciclo de vida da edificação (Tabela 4).

Tabela 4: Categorias investigadas ao longo do ciclo de vida da edificação. Fonte: O autor, (2024).

Categoria	Autores
Estágios da construção	Bosché, F. (2015); Tuttas, S. (2014;2017); Golparvar, F. (2015); Freimuth, H. (2019); Kim, T. (2019); Kim, H. (2021); Rausch, C. (2021); Kim, S. (2020).
Manutenção e operação, edifícios existentes	Jung, J. (2014;2018); Becker, S. (2015); Wang, C. (2015); Bassier, M. (2016); Abbas, M. (2017); Usmani, A. (2019); Xie, Lei (2019); Briceño, J. (2021); Meyer, T. (2023).

Como isso, a documentação atualizada pode aumentar potencialmente a transparência, a conectividade entre dispositivos com tecnologia BIM, exigindo menos esforços para obter uma visão eficaz da realidade construída (Usmani et al., 2019). Tal como um aperfeiçoamento sobre as principais etapas, essas contribuições são fundamentais na geração de documentos precisos.

O valor central dessa tecnologia não é apenas dados 'conectados', mas mais na criação de uma plataforma técnica, de conhecimento para uso profissional. A eficácia da tecnologia de digitalização 3D ocorre quando a nuvem de pontos é 'conectada' com o BIM, tornando-se informações detalhadas e conhecidas (Kim, 2019).

Em seguida serão revisados contextos problemáticos que envolvem estágios do planejamento das atividades.

4.5 Planejamento

Por diversas razões, estudos sobre o planejamento envolvem etapas críticas para o desenvolvimento de projetos *as-built*. O setor da construção, pode ser entendido como a integração de muitos profissionais, (engenheiros, instaladores, fornecedores, arquitetos), que regularmente seguem um modelo de gestão fragmentado, que enfrentam dificuldades para detectar conflitos e modificações na execução de serviços (Abbas, 2017; Usmani, et al., 2019).

A fase de planejamento de um projeto de construção é uma etapa crítica, onde as tarefas são previstas, prazos são estabelecidos e um plano operacional para a execução do projeto é criado. A falta de planejamento inicial, afeta diretamente o processo de projeto, resultando em atividades ineficientes, falta de informação, além de causar atrasos em entregas e demora na documentação (Tuttas, 2015; Thomson, 2015; Jacob, 2021).

Consequentemente, requisitos preliminares devem estabelecer fluxos ordenados, que apesar da complexidade de cada projeto, podem ser destacados: (1) reuniões entre interessados, (2) cronograma de atividades, (3) e especificação de formatos de arquivos. É necessária a adoção de plataformas acessíveis, que permitam a visualização de elementos construídos em tempo hábil, para compreensão do projeto por todos os participantes (Golparvar et al., 2015; Julin, 2019; Mahmood, 2020).

Além disso, projetos de construção exigem que equipes organizem o trabalho de diferentes profissionais, e que a interação de pessoas, máquinas, e estruturas de trabalhos sejam mais autônomas (Freimuth, 2019). Portanto, um sistema colaborativo é necessário para reunir informações gerais, favorecer compartilhamento de dados, e pareceres sobre as atividades, bem como, manter o controle ideal do fluxo de trabalho (Jacob et al. 2021).

Por outro lado, autores revelam que a falta de normativas claras e padrões na adoção e implementação de processos de documentação em edificações podem gerar inconsistências e desordem em procedimentos (López, 2019; Bassier, 2020). Assim, a geração *as-built* implica em diferentes tipos de informações, expressas em datas, prazos, medidas, procedimentos, portanto, são de natureza organizacional (Freimuth, 2019). De modo geral, organizações carecem de meios eficientes e confiáveis para registrar informações sobre a situação do projeto-construção (Vincke, 2019; Meyer, 2023). Problemas típicos incluem o custo de compra de equipamentos e *software* para projetos de construção e o custo de atualização de *hardware* para manutenção (Kim, 2020).

Ademais, a aplicação de procedimentos otimizados, requerem capacitação técnica de operadores para evitar erros de aquisição, bem como, processar informações (Thomson, 2015; Bassier, 2019; Mahmood, 2020; Rocha, 2020). Da mesma forma, procedimentos exigem capacitação técnica, para associar geometrias,

adicionar informações, e fornecer modelagem adequada em desenhos e representações (Thomson, 2015; Bassier, 2019).

Ademais, questões problemáticas em estágios de planejamento são apresentadas na Figura 20.

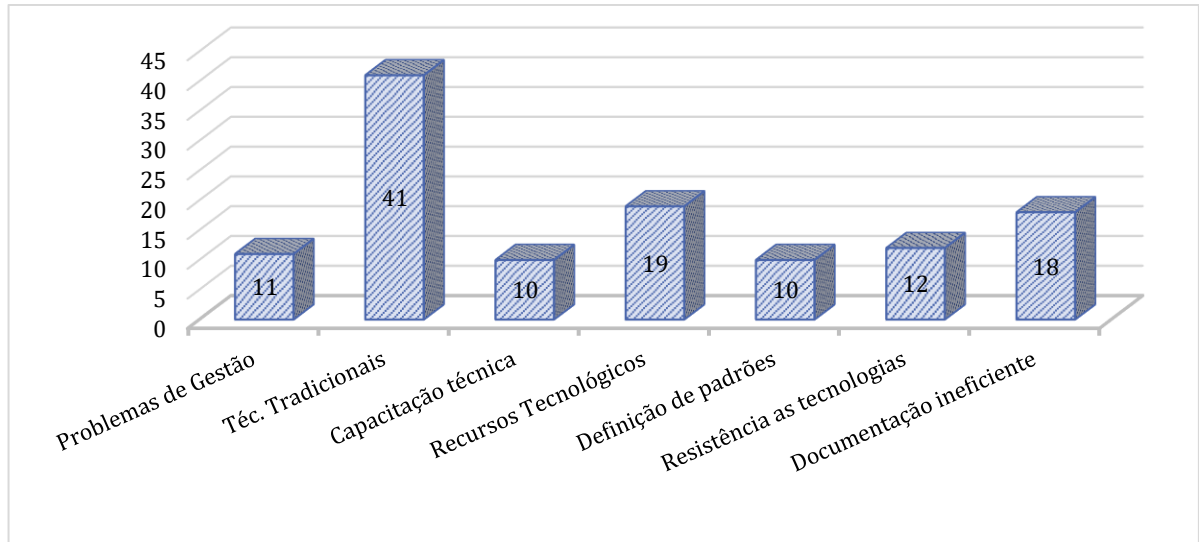


Figura 20. Gráfico em barras, problemas associados às etapas de planejamento.

Fonte: O autor, (2024).

De modo geral, as abordagens tradicionais de entrega e contratação de projetos, na prática, são vistas como ineficientes. Essas situações podem impactar diretamente no gerenciamento de projetos e apoiar a tomada de decisões.

Nesse caso, é importante observar todas as informações inicialmente, para que a execução do processo efetive as necessidades pretendidas. Em vista disso, investigações práticas constataam que condições externas encontradas em fases iniciais de preparação da atividade, podem incidir consideravelmente durante a coleta de dados. Apesar das melhorias, os levantamentos de dados ainda são tarefas trabalhosas e principalmente manuais.

4.6 Aquisição de dados

Nesse processo de compreender os desafios relacionados aos documentos *as-built*, é possível verificar que levantamentos e medições de dados são essenciais para gestão e controle de projetos, porém, dependem geralmente de interpretação humana, para anotar e revisar dados em determinado espaço.

Um método tradicional para coletar medidas, exige que usuários extraíam dimensões diretamente sobre componentes construídos, incluindo capturas fotográficas, anotações manuais para obter informações. Na prática, a atividade humana na percepção de espaços, e compreensão de desenhos, é considerada uma relação de alternância entre o papel e a atividade de construção, que podem levar a erros em medições (Mahmood, 2020; Janssen, 2017; Usmani, 2019).

Assim, técnicas de medições manuais, por exemplo, fitas métricas, tornam-se muito subjetivas, demoradas e aplicáveis apenas em pequenas áreas (Faltýnová, 2017). Além disso, visto que canteiros de obras são ambientes altamente dinâmicos, as condições para aquisição de dados podem variar, ou situações, quando o canteiro de obras está em operação, no momento do levantamento (Becker et al., 2015; Meidow 2018). Desse modo, a seleção de técnicas depende principalmente das características físicas do local, e tempo disponível para o trabalho de campo (Chiabrando 2017).

A partir disso, a extração de medidas da edificação pode ser obtida por meio de diferentes técnicas, por exemplo: (1) *Laser scanner* terrestres (TLS) ou (2) *Laser scanners* móveis (MLS), (3) fotogrametria digital, com câmeras RGB-D, ou (4) técnica de fotogrametria aérea, com uso de Vant. (Figura 21).



Figura 21: A) Laser scanner; B) Dispositivo móvel; C) VANT.

Fonte: Adaptado pelo autor, (2024).

Os *Terrestrial Laser Scanners* (TLS) são instrumentos utilizados para levantamentos de dados 3D que capturam espaços e detalhes ao seu redor, muito utilizado em pesquisas, devido sua precisão nos registros de componentes. Sua tecnologia funciona com sistema de detecção de luz *laser*, (*LiDAR*) onde as nuvens de pontos são geradas a partir do processo de varredura, que digitaliza variadas direções, respectivamente (Razali, 2022).

Para Hichri, et al. (2013) em termos de agilidade e precisão, o *laser scanner* é a solução para aquisição direta, e podem ser classificados em dois tipos:

- (1) *Laser Scanners* terrestres de longo alcance, medem distâncias calculando o tempo de varredura e mudanças na onda recebida pelo sinal: Jung (2014); Bosché (2015); Thomson (2015); Marcher (2015); Yoon (2015); Bassier (2016;2017); Badenko (2019); Reza (2019); Wang, Q. (2019); Usmani (2020); Kim (2020); Kim (2023).
- (2) *Scanners* móveis, que incluem sistemas de sensor 3D rotativo, e unidade de medição interna: Thomson (2015); Mahmood (2020); Hansen (2021); Klauer (2021); Gourguechon (2022); Schischmanow (2022); Yin (2023); Kim (2023).

Os TLS são amplamente utilizados, porém, o equipamento é caro e pesado, o que torna pouco eficiente e econômico, especialmente para o ambiente interno, inviável para alguns usuários comerciais (Julin, e Jamalama, 2019; Li, 2020). Além disso, sua aplicação requer conhecimento avançado (Rocha et al., 2020). Outro ponto, esclarece que o *laser scanner* não permite escanear o telhado de edificações devido à inclinação, o que limitaria o uso em coberturas complexas (Usmani, 2019; Luhmann et al. 2020).

Já os dispositivos *scanners* móveis, em geral, utilizam recursos de registros interativos, denominados como Sistema de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM), e dependem da capacidade dos sensores para estimar a posição e mapear ambientes em tempo hábil. Entretanto, a adoção desses sistemas, incluem limitações

na precisão e confiabilidade em áreas externas, bem como, falta de referência global (Schischmanow, 2022; Huan, 2023).

Em outros domínios, a fotogrametria digital apresenta-se como uma alternativa mais simples comparada ao *scanner a laser*, para gerar modelos tridimensionais. No entanto, são observadas variáveis, como a qualidade das imagens, configuração da lente, foco, orientação, entre outras, que afetam sua aplicação, na prática.

Golparvar (2015) complementa que a sensibilidade das câmeras é afetada pelos diferentes níveis de iluminação, particularmente aspectos como, projeção de sombra e a incidência solar, comprometem o processamento das imagens e a qualidade final. Questões como superfícies reflexivas, e localização geográfica, também podem limitar a tomada fotográfica (Piermattei, 2016; Faltýnová, 2017; Luhman, 2020; Murtiyoso, 2022).

Fluxos de trabalho, podem exigir operações analógicas que consistem em procedimentos como calibração da câmera, e orientação da imagem. A escolha da câmera depende do operador e das características do projeto, em cada tipo de caso. No entanto, câmeras de baixo custo com sensores de imagem pequenos geralmente possuem baixa relação sinal-ruído, o que levam a imagens com menor qualidade (Faltýnová, 2017).

Golparvar (2015) destaca alguns quadros críticos durante captura das imagens, por exemplo: (1) oclusões estáticas, e (2) oclusões dinâmicas, quando o canteiro de obras está em operação. Obstáculos estáticos referem-se a equipamentos da construção, e obstáculo dinâmico deve-se ao movimento de (máquinas e pessoas), resultando em detecção de elementos não desejados, ou dificuldades na verificação clara dos componentes. São revisadas limitações como mudanças abruptas de orientação, por exemplo, girar a câmera em direção oposta, e diferenças de escala, levam a problemas de alinhamento. Portanto, um cuidado especial deve ser tomado durante a aquisição de dados (Luhmann, 2020).

Visto isso, técnicas como a fotogrametria aérea também permitem coletar dados em ambientes externos de edificações, e locais de difícil acesso, o que pode beneficiar a aquisição de dados e automatizar o levantamento em diversos campos (Rizo, 2020). A preparação do voo, o planejamento de rotas e a calibração da câmera

devem ser realizados com antecedência (Janssen, 2017). A combinação de missões pré-definidas garante que o VANT percorra a trajetória automaticamente, da decolagem ao pouso com segurança operacional, para humanos e máquinas (Freimuth et al., 2019).

A capacidade de recursos de localização GPS é extremamente útil para as operações em ambientes de construção, pois permite que o usuário acompanhe o deslocamento do VANT, durante a aquisição do conjunto de imagens. Entretanto, apresenta inúmeros desafios em atividades com o monitoramento de construções: (1) captura de enorme quantidade de imagens; (2) instabilidades causadas pelo vento e controle da aeronave; (3) constantes variações no posicionamento GPS, interferem na estimativa da localização exata (Bang, 2017).

Xiong et al. (2014), relatam que eventualmente informações de GPS são fornecidas por outro dispositivo, o que podem causar desvios, sobre aspectos geográficos (Freimuth, 2019). Autores concordam que determinar pontos de controle, no entorno do edifício, garantem que posições sejam reconhecidas e que erros sejam minimizados (Piermattei, 2016; Meadow, 2018; Rocha, 2020; Schischmanow, 2020;). É necessário coletar um bom número de pontos, ao redor do edifício para garantir que o processo de georreferenciamento seja feito corretamente (Tuttas, 2017).

Ao analisar as informações, destacam-se os pontos relacionados a etapa de aquisição de dados. (Figura 22).

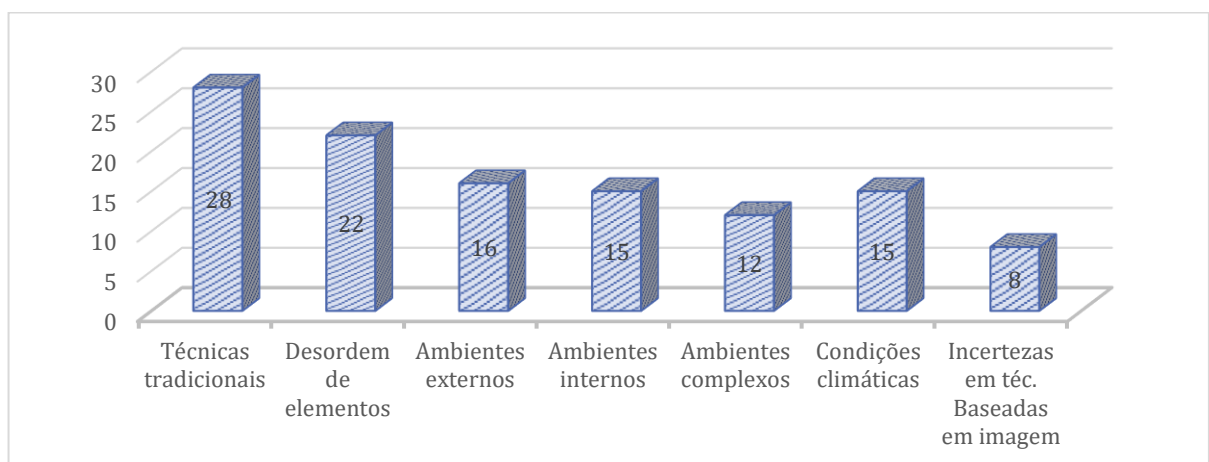


Figura 22. Gráfico em barras, dificuldades em etapas de aquisição de dados.

Fonte: O autor, (2024).

Os métodos manuais são mencionados frequentemente, estão sujeitos a erros humanos e interferências devida à natureza manual do processo. A coleta de dados sob más condições é um problema recorrente, e bloqueios na visão dos equipamentos durante a captura de elementos pode resultar em dados incompletos ou imprecisos.

O acesso e a localização, juntamente com a variabilidade das condições externas, dificultam as inspeções. Nesse caso, as condições de luz, sombras e ventos podem alterar a reconstrução 3D, e elementos reflexivos geram limitações na representação e processamento de nuvem de pontos.

Cenários complexos e variações geométricas em edificações e ambientes externos apresentam desafios para obter dados confiáveis, e geram muitas incertezas. Recentes técnicas, constituem uma base otimizada para o registro tridimensional de dados, normalmente resultam na criação de nuvens de pontos ou malhas 3D, disponíveis para uso em diferentes estágios do ciclo de vida da edificação.

A Figura 23, ilustra a quantificação de publicações associadas a diferentes técnicas de aquisição de dados 3D.

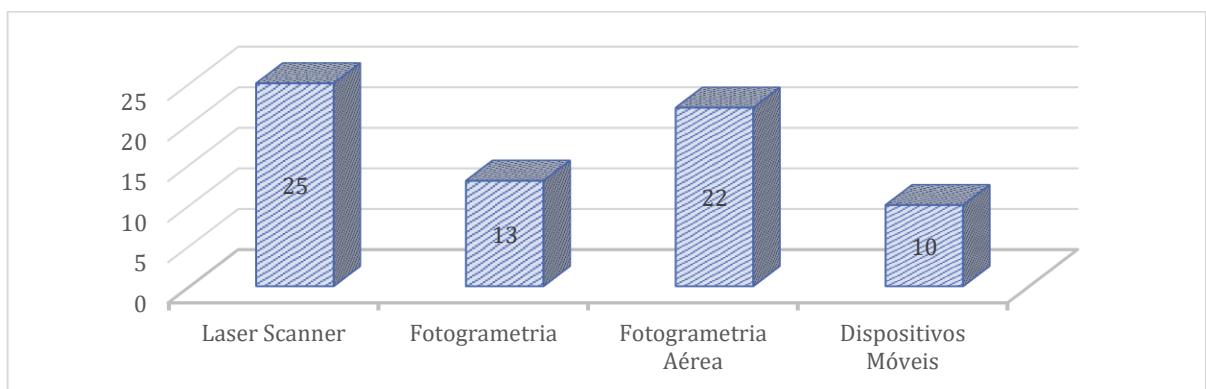


Figura 23. Gráfico em barras, quantidade de publicações.

Fonte: O autor (2024).

As técnicas analisadas incluem *Laser Scanners*, Fotogrametria terrestre, Fotogrametria Aérea e Dispositivos Móveis. *Laser Scanners* e Fotogrametria Aérea lideram em termos de quantidade de publicações, indicando sua ampla adoção e aplicabilidade em diferentes campos de atuação. A fotogrametria e o uso de dispositivos

móveis, apesar de terem menos publicações, sinalizam um interesse recente para aplicação em levantamentos 3D, principalmente pela facilidade de uso e custos mais acessíveis.

4.7 Processamento

A capacidade de recursos computacionais combinados a técnicas de captura da realidade, ampliam possibilidades para otimização do fluxo de trabalho e oferecem melhorias tangíveis para profissionais e organizações, assim como, as nuvens de pontos concedem um amplo potencial para aplicações, especialmente na indústria de AECO (Kaamin, 2020; Kim, 2020; Hannan 2022).

Na comparação entre as tecnologias de nuvem de pontos 3D, a modelagem baseada em imagem é uma tecnologia baseada principalmente em *software* e usa fotografias digitais ordenadas ou não ordenadas para gerar nuvens de pontos 3D (Tan, Qu. 2015). Apesar de ser mais acessíveis e fáceis de usar, as etapas de processamento baseadas em imagens, são mais demoradas, e apresentam dificuldades em verificações para controle dimensional e escala métrica (Bassier, 2020; Li, 2020).

Situações tornam-se cansativas e trabalhosas, para interpretar casos em que há excesso de bloqueios ou obstáculos na cena, resultando em desordem na geometria construída (Bassier, 2019). Muitas vezes, uma grande concentração de dados capturados e processados, não só representa um desafio, mas também a visualização pode ser um desafio (Vincke, 2019).

Recentes estudos, embora direcionem avanços significativos, na prática, exigem conhecimento técnico do operador, para operar recursos computacionais, onde a classificação de dados 3D requer esforços manuais, que são demorados e difíceis de automatizar (Bassier, 2020; Thomas, 2021; Kim, 2021; Delasse, 2022;).

Nesse contexto, programas de processamento podem importar e exportar somente alguns tipos de formato, e a transferência de modelos entre diferentes plataformas de *software* caracteriza-se um problema de interoperabilidade (Meidow, 2018; Klinc, 2021).

Para serem utilizadas, as nuvens de pontos muitas vezes não estão prontas para serem usadas diretamente em ferramentas BIM, exigindo procedimentos de limpeza, segmentação e análise. Essas etapas ocorrem quando existe a necessidade de dividir o projeto devido a seu tamanho ou modelar objetos isoladamente, dependendo do nível de complexidade. Este processo de segmentação manual pode levar muito tempo (Murtiyoso, 2019; Rocha, 2021).

Uma etapa importante em processos fotogramétricos é o registro de dados, que relaciona o modelo 3D ao plano de referência global. A localização geográfica é um processo de encontrar a posição e a orientação real ou relativa, em um modelo virtual, no plano de trabalho (Mahmood, 2020). No entanto, esse processo requer conhecimento especializado e medir manualmente os pontos de controle, é uma tarefa propensa a erros e demorada (Kaiser, 2022).

Semelhante a isso, outro aspecto desafiador da integração de dados de diferentes sensores, é alinhar e converter a nuvem de pontos para o mesmo sistema de coordenadas, ou seja, duas bases de dados devem estar associadas à mesma localização espacial (Alshawabkeh, 2021). Este processo é essencial para garantir que dados sejam utilizados em conjunto, mas geralmente é uma tarefa complicada.

Com base na verificação da qualidade e análises de diferenças, três identificam-se tipos de erros recorrentes: (1) erros posicionais, (2) geométricos e de (3) orientação (Klinc, 2021).

- Erros posicionais: podem ocorrer quando há desalinhamento constante ao longo de toda a parede.
- Erros geométricos: este erro pode ser detectado se os desvios em ambos os lados são positivos, significa que o modelo de parede está subdimensionado.
- Erros de orientação: pode ser detectado quando valores de desalinhamento aumentam ou diminuem de um do lado da parede para o outro.

Além disso, métodos de localização baseados em recursos interativos, geralmente são computacionalmente caros. Bang (2020) estuda um método automatizado de modelagem *as-built* baseado em *deep learning* para classificar e

processar nuvem de pontos, e extrair informações geométricas exatas sobre os elementos.

No entanto, a utilização de *deep learning*¹⁵ exige uma biblioteca de atributos e objetos pré-classificados ou objetos semelhantes, para preencher dados de treinamento, que não estão prontamente disponíveis (Reza, 2019). Apesar disso, não é possível extrair informações não geométricas para melhorar o enriquecimento semântico (por exemplo, material do elemento, tipo de elemento, estrutura interna, geometria) das características do modelo, o que torna o processo ainda mais desafiador e requer entrada de informações manualmente (Klinc, 2021).

Desde a obtenção de dados precisos, segmentação, classificação, há obstáculos que precisam ser superados. Devido a isso, a classificação automática da nuvem de pontos torna-se cada vez mais importante (Murtiyoso et al., 2019).

Ao analisar as informações, destacam-se os pontos relacionados a etapa de processamento (Figura 24).

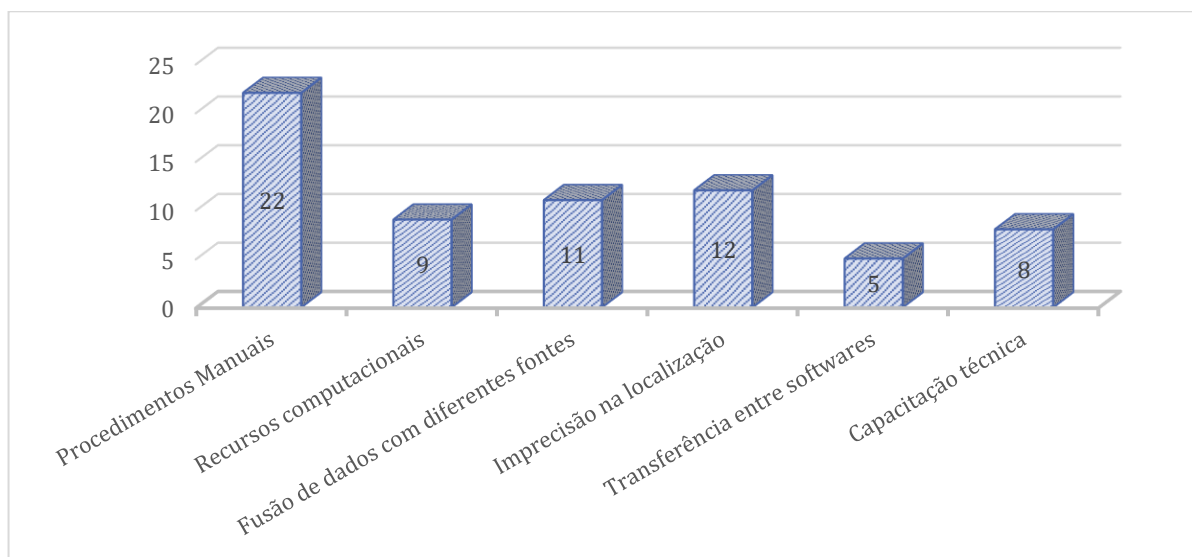


Figura 24. Problemas na etapa de processamento de dados.

Fonte: O autor, (2024).

¹⁵ O *deep learning* é uma vertente da ciência de dados que conduz muitas aplicações e serviços que melhoram a automação, realizando tarefas analíticas e físicas sem intervenção humana. Isso viabiliza muitos produtos e serviços do dia a dia, como assistentes digitais, controles remotos por voz, carros autônomos e IA generativa. Fonte IBM. Acessado em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/deep-learning#>

Com base na figura 24, processos manuais são demorados, este problema refere-se à dependência excessiva de tarefas tradicionais na documentação *as-built*. A seguir, etapas de processamento podem requerer a utilização de recursos avançados para operações com grandes volumes de dados. Isto pode ser um obstáculo, especialmente em organizações onde os recursos de *hardware* são limitados.

A integração e o alinhamento de dados provenientes de diferentes tipos de sensores (*LiDAR*, fotogrametria) são essenciais para criar uma documentação precisa. No entanto, a combinação desses dados é complexa e propensa a erros, afetando a qualidade final da documentação. Além disso, problemas relacionados à precisão na localização e registro dos dados podem comprometer a integridade do processo.

A transferência de dados entre diferentes *softwares* usados no processo de documentação *as-built* pode ser problemática. Incompatibilidades de formato e perda de dados são desafios comuns que podem afetar a continuidade do trabalho. Da mesma forma, limitações como a habilidade e o conhecimento do operador para operar dados, são fundamentais.

Os problemas mais frequentes incluem a dependência de processos manuais, fusão e alinhamento de dados de sensores e falhas na localização e registro. Esses problemas representam as principais barreiras para a eficiência e precisão na documentação *as-built*, e a sua resolução exige tanto avanços tecnológicos quanto capacitação humana.

Contudo, pesquisas em campos da visão computacional, tem aumentado potencialmente nos últimos anos, e conduzido contribuições positivas, em domínios de processamento. A geração de BIM *as-built* torna-se cada vez mais utilizada, para gerar representações digitais para toda gestão do ciclo de vida da edificação.

4.8 Reconstrução BIM

Nos últimos anos, a reconstrução de modelos BIM (*Building Information Modeling*) a partir de nuvens de pontos tem se mostrado uma abordagem promissora para a documentação das edificações durante e após estágios de construção. Entretanto, a criação de modelos 3D *as-built* permanece na maioria das vezes um processo manual, devido à enorme quantidade de dados, o que requer uma cadeia de processamento até extrair o máximo de informações (Macher, 2015).

Nesse caso, *softwares* BIM, não tem a capacidade de converter nuvem de pontos em modelos paramétricos BIM, de modo, que o operador deve remodelar a geometria usando métodos semi-automáticos de engenharia reversa (Meadow et al., 2018). Normalmente a nuvem de pontos é usada como guia que permite projetistas identificar e rastrear a forma de elementos (Jung, 2018). Apesar de *softwares* comerciais automatizar e acelerar a construção de componentes, a modelagem exata de todos os elementos de construção ainda depende da intervenção do usuário (Kim, 2021).

Alguns *softwares* BIM carecem de um formato comum para distribuição de informações, o que pode resultar na perda de dados durante a transferência de informações entre diferentes programas (Ustinovičius et al., 2018). Ao analisar as informações, destacam-se os pontos relacionados a etapa de reconstrução BIM (Figura 25).

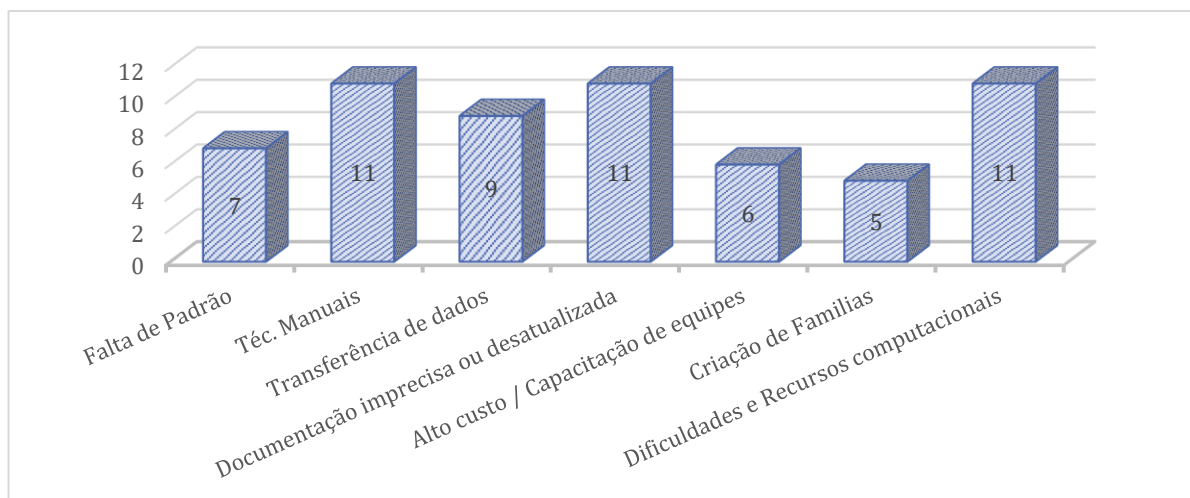


Figura 25. Gráfico em Barras, problemas na etapa de reconstrução BIM.

Fonte: Adaptado pelo autor (2024).

As informações de construção armazenadas em modelos BIM são muitas vezes imprecisas, desatualizadas ou ausentes (Wang, 2019). Ainda assim, o alto custo de implementação e um treinamento extensivo para equipes tornam-se barreiras significativas (Gustavo, 2021; Esfahani, 2021). Trata-se de um investimento de tempo significativo e a necessidade de automatização é enorme (Bassier, 2019).

A integração de diferentes *softwares* com BIM ainda é um problema recorrente, e a falta de compatibilidade entre ferramentas pode comprometer a troca de dados e a precisão do modelo.

Por outro ângulo, conceitos como *Scan-to-BIM* e *Scan-vs-BIM* destacam o vínculo de nuvem de pontos 3D, com a tecnologia BIM, levando a construção como conhecemos para um ambiente virtual, diferenciando de abordagens tradicionais (Bosché, 2015; Tan Qu, 2015; Usmani, 2020).

4.8.1 *Scan to BIM*

Scan-to-BIM é o processo de conversão de dados digitalizados para modelos BIM. A prática refere-se à criação de modelos BIM manualmente, usando como referência a nuvem de pontos 3D. Wang (2019) descreve as quatro principais etapas do processo e suas relações: (1) identificação dos requisitos de informação, (2) determinação da qualidade necessária dos dados de digitalização, (3) aquisição de dados de digitalização e (4) reconstrução BIM.

Bassier (2019) explica que um método popular é extrair informações de estrutura de dados de nuvem de pontos, onde as dimensões de modelos BIMs são comparadas com as condições reais da edificação. Segundo o autor, primeiro reduz-se a nuvem de pontos a um conjunto de imagens 2D cortando ou projetando os pontos em um plano. Após, toda a nuvem de pontos é processada com uso de técnicas eficientes de visão computacional.

Esfahani (2021) explica que o *Scan-to-BIM* se torna uma abordagem viável para coletar e modelar informações 3D *as-built* em edificações existentes, e pode ser dividido em três fases: (1) digitalização, (2) registro e (3) modelagem. A modelagem

de dados depende principalmente da plataforma baseada em BIM, e aplicações para reconhecimento de nuvem de pontos (Usmani, 2019).

Kim (2019) detalha que o processo de digitalização para BIM difere em cada projeto. No entanto, a maioria dos projetos de digitalização 3D pode ser simplificada em cinco etapas:

1. Planejamento (pré-digitalização)
2. Varredura no local (aquisição de campo)
3. Cadastro e Alinhamento (Classificação de Dados)
4. Integração de PCD com BIM (pós-digitalização)
5. Análise de Dados e Desenho (Produção)

Embora a nuvens de pontos 3D baseadas em imagem possam ser produzidas rapidamente, ainda não está perfeitamente esclarecido como conduzir a verificação de um modelo BIM, principalmente por três razões, (MEYER 2023).

- A geometria da superfície de um objeto não é uniforme;
- A qualidade e a incerteza em uma nuvem de pontos variam muito
- A geometria do BIM em si é um pouco incerta devido a possíveis erros de modelagem.

Portanto, a indústria se beneficiaria muito da automação no *Scan-to-BIM*. Os resultados obtidos fornecem uma fonte de dados que podem ser usados para intervenções futuras, especialmente para a renovação de edifícios dos quais as documentações não estão disponíveis ou desatualizadas.

4.8.2 Scan vs BIM

Scan vs. BIM, inicialmente proposto por Bosché, (2015), baseia-se no alinhamento geométrico e na comparação de varreduras a *laser as-built* com modelos BIM conforme projetados, para reconhecer e identificar componentes MEP. As

contribuições são: 1) Identificação de desvios entre o *as-built* e o planejado; 2) Medição dos serviços executados; 3) Automação de etapas para atualização de modelos BIM.

Um método também foi desenvolvido para remover pontos redundantes de uma nuvem de pontos, para detectar alterações entre digitalizações consecutivas, (Maalek, 2019). Essa abordagem facilita não apenas a detecção de diferenças, mas também a localização dos elementos ausentes do BIM em relação à condição existentes.

Honti et al. (2020) revela que a verificação da geometria de estruturas construídas é uma das fases mais importantes da construção. Mediante comparação de modelos BIM existentes baseados em *scan-vs-BIM*. O autor explica que um alinhamento com nuvens de pontos escaneadas, podem ser realizados por meio de sobreposições, vindo a ser atividades semi ou totalmente automatizadas.

Portanto, especificações devem ser utilizadas para determinar se um projeto atenderá ou não ao nível de precisão dimensional solicitada (Bassier, 2019; Wang, 2019). Inicialmente, identificam-se os requisitos de informação, incluindo elementos de construção, nível de detalhamento (*LoD*) e atributos não geométricos.

O *LoD* 500 pode ser utilizado para armazenar dados, devido à natureza *as-built*. Wang (2019) sugere um nível de classificação para projetos, necessário para obter uma estrutura para *Scan-to-BIM*, conforme ilustrado na Figura 26.

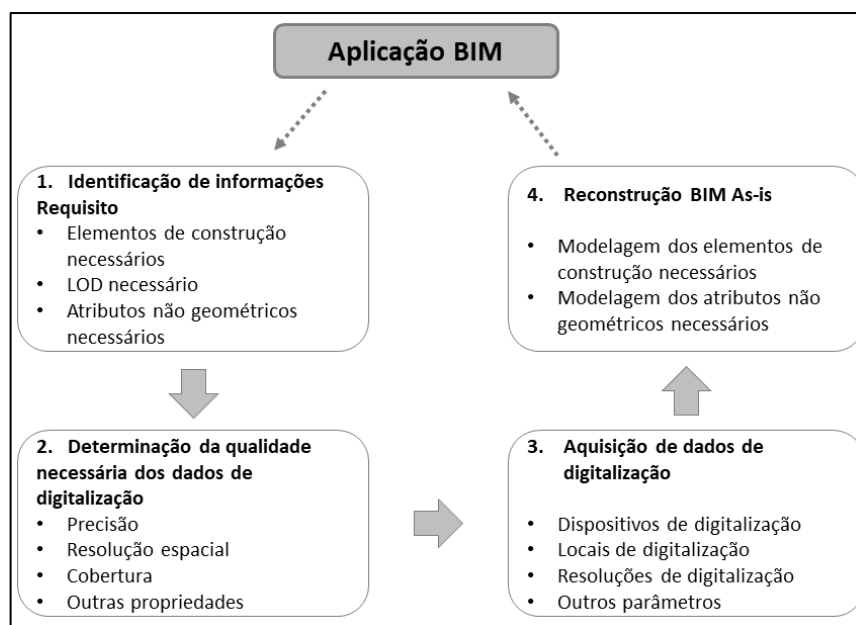


Figura 26. Framework de digitalização para BIM. Fonte: Wang, (2019).

Esfahani et al. (2021) estabelecem logo no início do projeto um consenso sobre o nível de precisão do modelo BIM, em cada etapa. Por exemplo, a adoção de *LoD 400 (Level of development)*, o qual é específico para padrões de projetos executivos, destinados à fabricação e montagem. O artigo avalia níveis de automação, treinamento de modeladores na precisão dos modelos BIM gerados. Por fim, o estudo fornece informações sobre a certeza dimensional e decisões tomadas com base nessas informações.

As atribuições de dados e classificações são úteis para garantir a qualidade, todavia, as partes interessadas podem solicitar informações, que podem ser adicionadas à geometria BIM.

4.9 Análise e verificação

Exigências voltadas para o controle de qualidade de procedimentos de documentação *as-built*, foram observadas e analisadas para apoiar a documentação entregue aos usuários finais. A validação envolve a confiabilidade e a garantia de que todos os elementos do modelo estejam corretamente representados e integrados no modelo (Lin, 2018).

A precisão dimensional é crucial para garantir uma compreensão correta. Apesar disso, a presença de dados imprecisos resulta em decisões inadequadas, e pode comprometer a qualidade dos projetos de construção (Vincke et al., 2019). Nesse caso, é fundamental adotar métodos de análise, comparar diferenças métricas entre o projeto executivo e o modelo *as-built* (Russo, 2022).

López (2019) propõem a adequação de modelos BIM a normativa internacional ISO 19157 para controle de qualidade e conformidade de elementos BIM. Explica que o conjunto de dados *as-built* BIM devem estar integrados a uma estrutura geográfica (a localização real do edifício), refletindo as posições e atributos exatos dos elementos em interesse.

É essencial estabelecer um consenso sobre o nível de precisão dimensional sobre modelos BIM, adotando nível de detalhes, dentro de uma faixa de erro apropriada (Becker, et al., 2015; Esfahani et al., 2021). Por outro lado, a visualização

dos modelos BIM também afeta a validação, conforme apontado por Esfahani et al. (2021).

Devido à sobrecarga em projetos de construção, recursos adicionais são escassos para realizar uma avaliação métrica de qualidade dos objetos construídos (Klinc et al., 2021). Neste contexto, técnicas fotogramétricas tornam-se mais propensas a erros comparadas a outras abordagens, devido à alta sobreposição de imagens (Bank et al., 2017; Maestre et al., 2020).

A qualidade de modelos 3D baseados em imagens depende de planejamento do ponto de vista prático do levantamento, e devem ser tomados cuidados especiais para otimizar a qualidade dos modelos 3D (Kim et al., 2019). A falta de confiabilidade geométrica representa uma forte barreira para inovações e desenvolvimento de procedimentos baseados em imagem para BIM *as-built*, tanto em termos de *software* quanto de *hardware* (Meyer, 2023).

Isso significa que a configuração da câmera e dados como pontos de controle devem ser observados para integridade necessária para validação dos resultados (Piermattei et al., 2016). Tuttas et al. (2014) combinam um método automatizado para comparar dados em nuvem de pontos fotogramétricas vs BIM, através de restituição de imagem integrada a um plano de referência no canteiro de obras, baseado em pontos de controle.

Briceno et al. (2021) afirmam a necessidade de que pontos de controle sejam incorporados a medição, referindo-se à demarcação de alvos na infraestrutura, os quais são medidos através de sua coordenada geográficas com GPS. Estes alvos devem ser aplicados com equipamentos especializados, serão posteriormente vinculados ao processo fotogramétrico.

Para estudos em campo com o uso de fotogrametria com VANT, é fundamental o uso de pontos de controle em relação ao objeto capturado, pois são úteis para avaliação da precisão de modelos 3D (Lai et al., 2021). A coleta precisa de pontos de controle é essencial para o processamento dos dados, conforme destacado por M. (Bassier et al. 2019). Erros na coleta desses pontos podem comprometer a precisão do modelo e a qualidade do processamento dos dados.

Ao analisar as informações, destacam-se os pontos relacionados a etapa de análise e verificação na Figura 27.

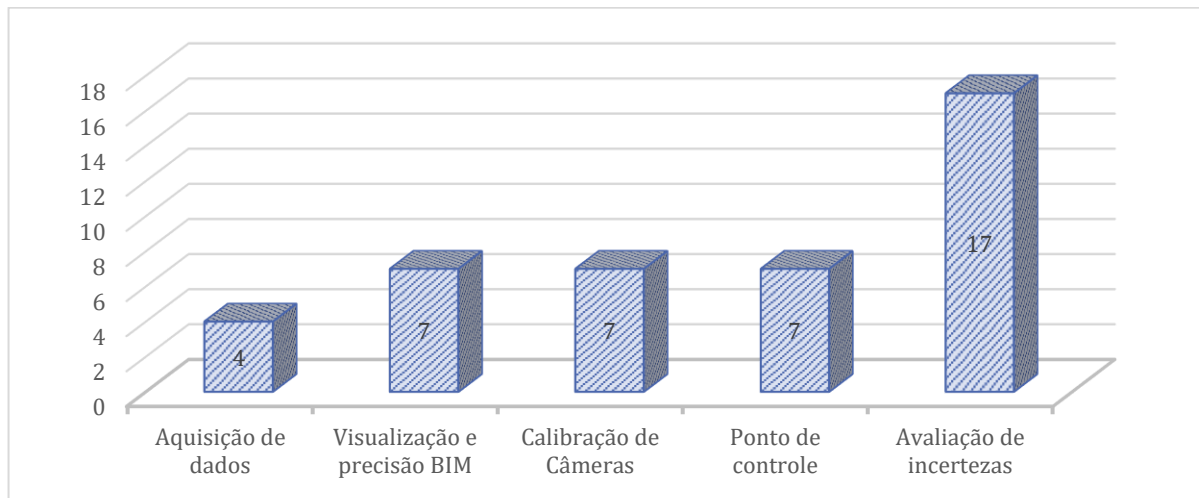


Figura 27. Gráfico em Barras, problemas na etapa de análise e verificação.

Fonte: Adaptado pelo autor (2024).

Apesar dos avanços tecnológicos que permitem a obtenção de dados espaciais cada vez mais precisos, prever e analisar desvios geométricos e erros posicionais para a correta aplicação das técnicas de digitalização, é fundamental para a validação dimensional adequada dos modelos 3D.

As exigências voltadas para o controle de qualidade dos procedimentos de documentação *as-built* devem ser observadas ao longo de todo o processo, desde o planejamento das atividades até a documentação final entregue aos usuários.

4.10 Fechamento da Revisão Sistemática de Literatura

A revisão sistemática da literatura ajudou a mapear o campo de pesquisa existente, identificando lacunas e áreas relevantes, além disso, permitiu sintetizar informações múltiplas presentes entre as principais etapas do processo de documentação *as-built*, estruturando o conhecimento para conduzir a auxiliar a implementação de novas tecnologias.

A revisão demonstra que métodos tradicionais de documentação, embora ainda amplamente utilizados, são ineficazes devido à dependência de verificações manuais e à suscetibilidade a erros.

A quantidade de publicações por técnica de aquisição de dados 3D reflete as preferências das comunidades científicas e profissionais, bem como, o momento oportuno para exploração de tecnologias emergentes. Apesar dos avanços, as abordagens revelam limitações relacionadas ao alto custo, complicações operacionais e necessidade de conhecimentos técnicos avançados.

A falta de confiabilidade geométrica é uma barreira substancial para inovações em aplicativos baseados em imagem para BIM *as-built*, tanto em termos de *software* quanto de *hardware*. O processamento de dados obtidos em levantamentos requer recursos computacionais avançados e capacitação técnica dos operadores para transformar nuvens de pontos em modelos BIM utilizáveis. A interoperabilidade entre diferentes *softwares* e a necessidade de procedimentos manuais para tratar e limpar dados brutos são obstáculos que precisam ser superados.

A revisão sistemática destaca que, apesar das inúmeras dificuldades, a integração de tecnologias BIM e a captura de dados 3D contribuem significativamente para a proposição de novos fluxos de trabalho. O foco na otimização, padronização e capacitação técnica é essencial para transformar abordagens existentes e garantir que a documentação *as-built* se torne uma alternativa adequada para o desenvolvimento de projetos.

5. ESTUDOS DE CASO

Para explorar o desenvolvimento e aplicação propostos nesta pesquisa, estudos de casos foram realizados, em colaboração com empresas do ramo da construção. Conforme apresentado anteriormente, foram desenvolvidos dois estudos de caso iniciais, com caráter exploratório:

- Estudo de Caso 1, em ambiente externo: Aquisição de dados com uso de técnica de fotogrametria aérea com VANT.
- Estudo de Caso 2, em ambiente interno: Aquisição de dados com uso de dispositivos móveis e sensor *LiDAR* acoplado em *smartphone*.

Portanto, a aplicação metodológica demonstra o desencadeamento de atividades, em ambiente dinâmico e complexo, como canteiros de obras, concentrando esforços para um novo redesenho do fluxo de trabalho com relação à documentação *as-built*.

Os resultados obtidos serão comunicados e conduzem a aplicação técnica para maior desempenho em projetos, em edificações em estágios finais de construção.

5.1 Estudo de caso 1: Levantamento externo

O primeiro estudo de caso, direciona esforços no levantamento de dados em ambiente externo de edificação, em estágio de construção, com vistas a coletar informações sobre elementos estruturais construídos. Os estudos ocorreram em empreendimento imobiliário de grande porte, localizado na região litorânea, da cidade de Rio Grande/RS.

A edificação foi projetada para uso misto (residencial e comercial), consistindo em três torres, com sete pavimentos, e previsão de entrega no ano de 2024. A Figura 28 mostra a localização do empreendimento.

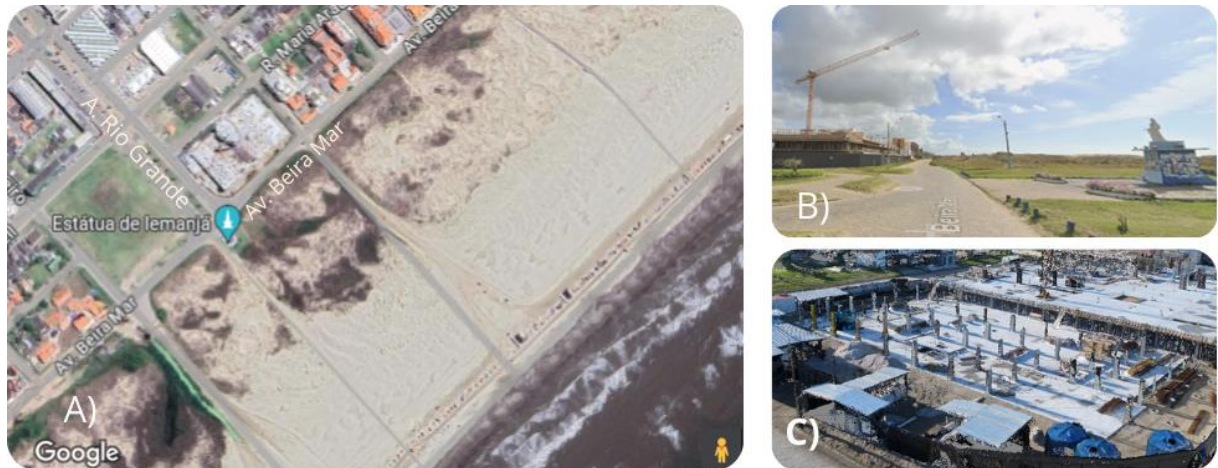


Figura 28: Localização do empreendimento: A) Mapa região litorânea Praia do Cassino; B) Entorno imediato; C) Perspectiva externa. Fonte: Google, 2024.

Essa edificação foi escolhida pela construção estar em estágios iniciais, permitindo a visibilidade de estruturas, favorecendo a realização do levantamento. Com relação ao sistema construtivo, predomina a execução de estruturas em concreto armado, moldados *in loco*, através de formas metálicas, caracterizando-se pela montagem de painéis.

5.1.1 Planejamento

As fases iniciais foram marcadas pela organização das atividades, observação de requisitos e informações relacionados a área de interesse. Isso incluiu o reconhecimento no local, para verificar a presença de obstáculos, que poderiam causar interferências durante a aquisição de dados com VANT. Essa análise preliminar, identificou os potenciais desafios e elaboração de um planejamento estratégico para mitigá-los. Os seguintes itens foram considerados:

- Reconhecimento em campo;
- Obter a documentação existente;
- Seleção de métodos e instrumentos;
- Verificação das condições climáticas para o dia 18/06/2022;

O equipamento escolhido para esse estudo, tratou-se de um VANT (modelo descrito no capítulo 3), que percorreu uma rota pré-determinada pelo operador, que

cobriu a área de interesse, e gerou um conjunto de imagem de alta resolução, sobre os elementos estruturais visíveis em canteiro de obras. Durante esse estágio a construção encontrava-se em fase inicial.

5.1.2 Aquisição de dados

Para realizar o planejamento de voo, foi utilizado a aplicação desenvolvida pela *Drone harmony*¹⁶. As vantagens dessa atividade, permitiu a simulação do percurso que a aeronave percorreu, e ajustar questões de altura, e sobreposição de imagens. Estes fatores incidiram no controle e qualidade dos dados obtidos.

A região de interesse foi delimitada no aplicativo, para cobrir a área além dos limites do terreno. O aplicativo simulou a rota a ser percorrida, facilitando a compreensão do operador antes da efetivação da atividade. Essa preparação visou assegurar que o VANT capturasse integralmente toda área determinada, conforme Figura 29.



Figura 29. Planejamento de voo. Fonte: <https://droneharmony.com/mobile-versions/> 2024.

Para garantir a qualidade das imagens coletadas, foi ajustada a sobreposição em 60%, permitindo maior cobertura e visualização dos elementos construídos. Essa etapa caracterizou-se pela interação de diferentes sistemas, como recursos computacionais e serviços de auto localização, como o GPS. O andamento desse processo foi acompanhado em tempo real pelo operador, por meio de conexão com dispositivo móvel.

¹⁶ Drone Autonomy Software Platform for DJI Drones & UAVs (droneharmony.com). <https://droneharmony.com/>

Observou-se que no momento da captura que a incidência de ventos era constante para realização do voo, pois se tratava de uma edificação em região litorânea onde os ventos são consideráveis. No entanto, essas questões foram superadas, pela estabilidade do equipamento em manter-se seguro, e por questões climáticas favoráveis para efetivação da atividade.

Após concluir a coleta de imagens com o VANT de forma automática (com registros cada 2 segundos), a altura de 45 metros em relação ao solo, o operador realizou algumas tomadas manualmente, de modo a capturar imagens do canteiro de obras em ângulos e perspectivas, destacando a altura e detalhes de alguns elementos.

A operação manual do equipamento, demandou domínio no controle da aeronave, para identificação de obstáculos, mantendo contato visual com VANT, continuamente. Além disso, determinou-se uma distância segura de objetos, como postes de energia e edificações, próximos da área de interesse.

Após concluir essa etapa, em ambiente de escritório, o material obtido foi transferido para o computador, as imagens fora de foco, orientação, ou com alta exposição, foram excluídas, selecionando apenas imagens adequadas, e compatíveis para subsidiar as fases seguintes. Detalhes sobre a atividade (Figura 30).

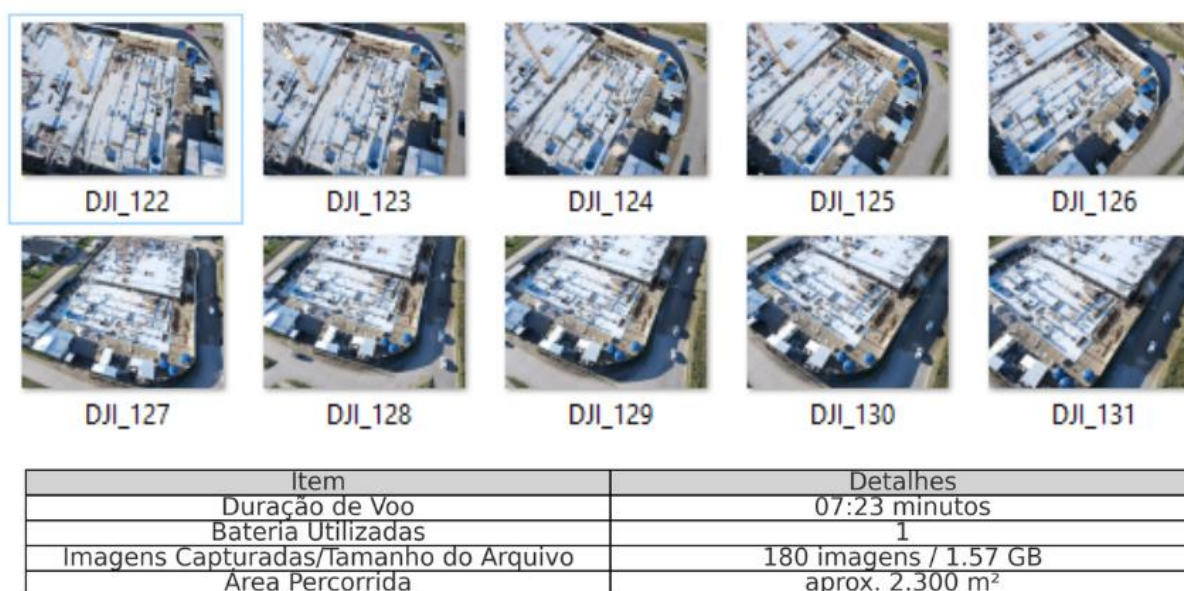


Figura 30. Descrição do levantamento aéreo em ambiente externo. Fonte: O autor, 2023.

A próxima etapa envolveu o processamento fotogramétrico, foi selecionado um *software* específico de reconstrução 3D, para conversão do conjunto de imagens para modelo tridimensional, em formato de nuvem de pontos. Esse processo foi efetuado em ambiente de escritório.

5.1.3 Processamento

As imagens fornecidas pelo VANT, em formato JPG, possuem inúmeros metadados, por exemplo, informações referentes ao horário da captura, altura de voo, coordenadas geográficas, configurações da câmera, exposição, abertura do obturador, resolução, reconhecidos pelo programa, durante a transformação e etapas de modelagem 3D (Figura 31):

Geral	
Segurança	
Detalhes	
Versões Anteriores	
Propriedade	Valor
Dimensões	4000 x 3000
Largura	4000 pixels
Altura	3000 pixels
Resolução horizontal	72 dpi
Resolução vertical	72 dpi
Intensidade de bits	24
Compactação	
Unidade de resolução	2
Representação de cores	sRGB
Bits/pixel compactados	
Câmera	
Fabricante da câmera	DJI
Modelo da câmera	FC3170
Escala de número f	f/2.8
Tempo de exposição	1/200 s
Velocidade ISO	ISO-100
Ajuste de exposição	etapa +0.7
Distância focal	4 mm

Figura 31: Propriedade de imagens capturadas pelo VANT. Fonte: O autor, 2023.

Nessa etapa, optou-se por utilizar o programa de reconstrução 3D, Agisoft Metashape¹⁷, o *software* foi adquirido por meio de uma versão gratuita de teste, no

¹⁷ Agisoft Metashape: Licensing Options. (<https://www.agisoft.com/buy/licensing-options/>)

período de 30 dias. As etapas específicas do processamento fotogramétrico, foram as seguintes:

1. Pré-Processamento;
2. Importação de Imagens;
3. Calibração da Câmera;
4. Alinhamento das Imagens;
5. Construção da Nuvem de Pontos Densa;
6. Limpeza e filtragem de pontos.

O pré-processamento das imagens incluiu a organização e verificação da qualidade das imagens capturadas. Nesta fase, verificou-se a presença de imagens desfocadas ou mal alinhadas antes da importação no *software*. A segunda etapa envolveu a importação.

Uma vez carregadas, o programa estima parâmetros de orientação da câmera, incluindo distorções não lineares e radiais. Este processo envolve a identificação de pontos-chave entre imagens e o cálculo de suas correspondências entre as imagens sobrepostas. O programa calcula a posição e a direção das imagens no espaço, criando uma estrutura inicial em nuvem de pontos 3D.

Após o alinhamento e otimização de câmeras, a nuvem de pontos densa é gerada, com base nos parâmetros de orientação e correspondência *Dense Stereo Matching (DSM)*, assim cada ponto é registrado no plano tridimensional.

A partir da nuvem de pontos densa, o *software* gera uma malha 3D texturizada referente as imagens originais, para representar elementos detalhados do ambiente construído. O resultado do processo pode ser visualizado na (Figura 32).



Figura 32: Processamento fotogramétrico, nuvem de pontos densa. Fonte: Agisoft Metashape, 2023.

Antes que os dados sejam exportados, recomenda-se um processo de limpeza e filtragem de ruídos da nuvem de pontos. Esta etapa envolve a remoção de pontos desnecessários, detalhes secundários capturados durante o levantamento.

Essa etapa pode ser efetuada utilizando o Agisoft Metashape, ou utilizando programas específicos de edição de nuvem de pontos, como o Autodesk Recap¹⁸, escolhido nesse caso, com base na Figura 33. A limpeza e o tratamento da nuvem de pontos são essenciais para:

- Garantir a qualidade visual do modelo 3D;
- Reduzir o volume de dados processados e o tamanho do arquivo;
- Facilitar a identificação dos elementos no modelo BIM.

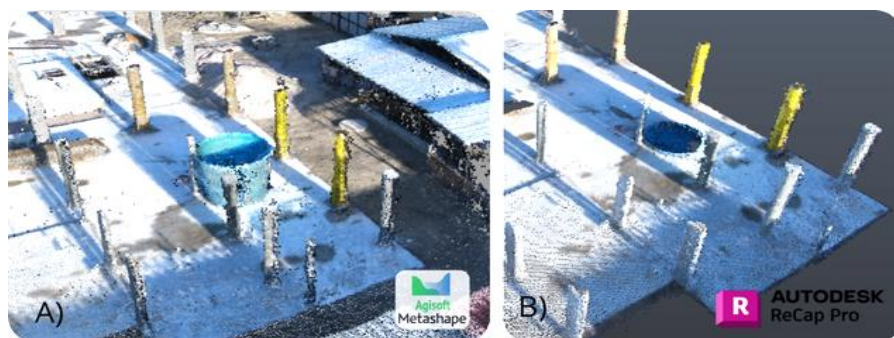


Figura 33: A) Nuvem de pontos, dados brutos; B) Nuvem de pontos tratada. Fonte: Agisoft Metashape; Autodesk Recap PRO, 2023.

Além dos ruídos, pontos que não pertencem aos objetos de interesse, precisam ser removidos. Por exemplo, vegetação ou objetos temporários são eliminados

¹⁸ Download ReCap Pro | Free Trial | Autodesk (<https://www.autodesk.com/products/recap/free-trial>).

usando funções de seleção 3D. Estes elementos são geralmente verificados manualmente, com objetivo de manter apenas componentes relevantes. Após essa limpeza, a nuvem de pontos é exportada em formato (rcp) *Recap Point Cloud*.

Os dados em nuvem de pontos 3D formam uma base fundamental para a reconstrução de modelos BIM ricos em informações. A utilização de nuvens de pontos permite a criação de modelos digitais detalhados de edificações e estruturas, essenciais para a verificações dimensionais e gestão adequada de projetos, em estágios de construção.

5.1.4 Reconstrução BIM

Neste estágio, a nuvem de pontos foi vinculada a um projeto BIM existente, para gerar comparações e verificar diferenças dimensionais entre os modelos. Esta etapa é crucial para comunicar falhas e identificar possíveis interferências que ocorreram durante o processo. Para garantir a compatibilidade e a precisão, é essencial ajustar a visualização, o sistema de coordenadas e as unidades de medida, assegurando que a extensão da nuvem de pontos esteja clara e corretamente posicionada.

Devido à escala do empreendimento, optou-se por reduzir a região de interesse para focar na interpretação dos elementos visíveis (pilares, pisos). Esta abordagem permitiu concentrar a análise em área mais restrita da edificação, o que facilitou a identificação dos desvios estruturais.

Nessa etapa a nuvem de pontos foi reposicionada para garantir um alinhamento adequado, realizando rotações e deslocamentos até obter uma sobreposição precisa entre ambas as geometrias. Conforme ilustrado na Figura 34, este processo de alinhamento é fundamental para assegurar a precisão e comparações entre os modelos.

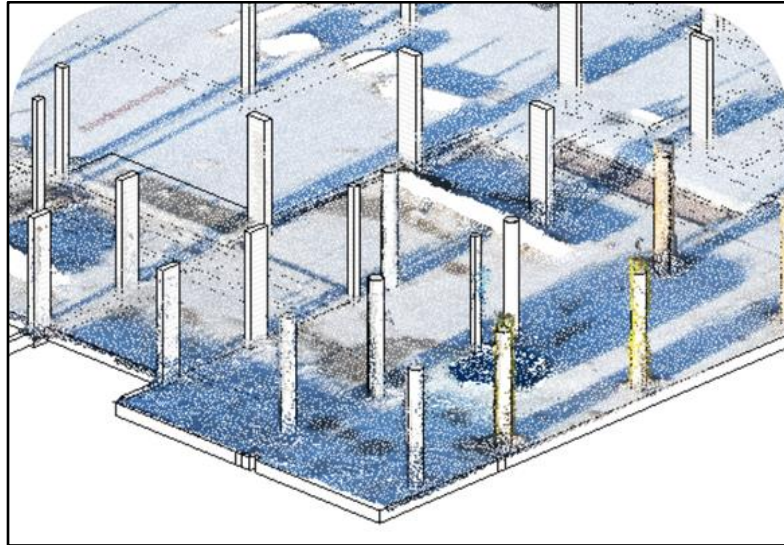


Figura 34: Sobreposição entre nuvem de pontos 3D e modelo BIM planejado, 2023.

Com a nuvem de pontos sobreposta, iniciou-se a comparação, utilizando meios de visualização em corte e planta baixa, bem como, a criação de eixos de referências, permitindo inspecionar diferenças entre a estrutura executada (capturada pelo VANT) e o modelo BIM existente (Figura 35).

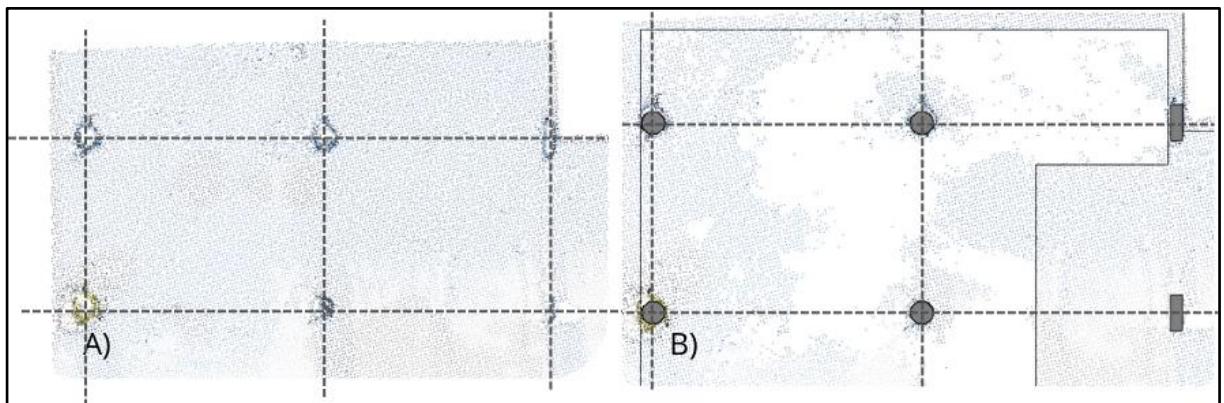


Figura 35: A) Nuvem de pontos; B) Sobreposição entre modelos geométricos Fonte: O Autor, 2023.

Esses ajustes possibilitaram a visualização detalhada dos elementos, envolveram modificações em componentes, adição de novos ou correções de erros de modelagem.

5.1.5 Verificação e Análise

Nessa seção, direcionou-se esforços para identificar e comparar diferenças existentes entre a nuvem de pontos fotogramétrica e o modelo BIM planejado. Foram extraídas um conjunto de medidas entre vãos de estruturas visíveis, (pilares) (conforme Figura 36), para verificar desvios em dimensões ou falhas, da mesma forma, examinar o potencial da técnica.

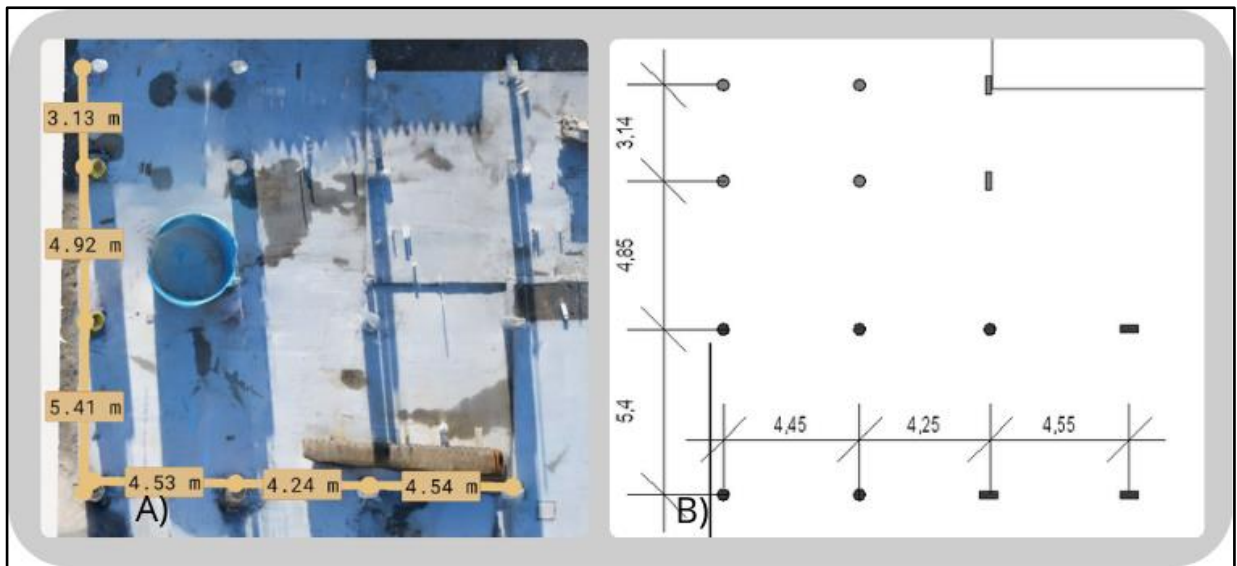


Figura 36: A) Nuvem de pontos; B) documentação existente. Fonte: O Autor, 2023.

Com base na indicação das medidas, estimou-se a média de desvios entre pontos correspondentes (tabela 05). Observa-se a presença clara de variações entre dimensões, apontando diferenças pontuais na aplicação dessa técnica. Por outro lado, um número reduzido apresentou menor variação, cerca de 0,01cm.

Tabela 05: Diferenças entre medidas. Fonte: O autor, 2023.

Nuvem de pontos 3D (cm)	Modelo BIM planejado (cm)	Erro Médio (cm)
3,13; 4,92; 5,41; 4,53; 4,24; 4,54	3,14; 4,85; 5,40; 4,45; 4,25; 4,55	0,01; 0,07; 0,01; 0,08; 0,01; 0,01
26,77	26,64	0,19
		0,03 cm

Essa atividade evidenciou eventuais interferências no decorrer do processo. Contudo, serão comunicadas as vantagens e desvantagens na aplicação técnica da fotogrametria aérea, em ambiente externo de construção, conforme tabela 06.

Tabela 06: Vantagens e desvantagens. Fonte: O autor, 2024.

Desvantagens	Vantagens
● Planejamento: - Comunicação entre os envolvidos - Escala da edificação.	● Planejamento: - Obter a documentação existente - Integração de diferentes sistemas
● Aquisição de dados - Extrair pontos de controle - Pouca quantidade de imagens - Levantamento tradicional	● Aquisição - Redução no tempo de levantamento - Qualidade das imagens - Canteiro de obras não estava em operação
● Processamento - Processamento fotogramétrico demorado e trabalhoso - Limpeza dos dados manual - Transferência entre <i>softwares</i> - Tamanho do arquivo	● Processamento - Processo automatizado - Configurações de parâmetros de acordo a capacidade computacional
● Vinculo com BIM - Visualização da nuvem de pontos - Requerem recursos computacionais - Demora para análise de dados	● Vinculo com BIM - Importação simplificada - Diferentes formatos de arquivos

Os procedimentos revelaram inúmeras possibilidades para otimização de procedimentos em canteiro de obras, mas que impactam diretamente na sequência das atividades, desde o planejamento até a integração de dados com BIM.

As dificuldades enfrentadas na aquisição de dados, por mais que o VANT reduza o tempo de levantamento, o procedimento exige equipamentos complementares, para coleta de pontos geográficos precisos.

Nessa perspectiva, destaca-se que estágios de processamento de dados exigiram interferência manual do usuário, para eliminar ruídos e dados indesejáveis, por mais que *softwares* dispõem de funções automáticas, a realização dessa tarefa acabou sendo demorada e trabalhosa. Apesar de algumas limitações tecnológicas e disponibilidade de recursos computacionais, as vantagens dessa abordagem, superaram os desafios.

A investigação prática demonstrada por esse estudo de caso, favoreceu para otimização de etapas durante o desenvolvimento de projetos, e melhorias contínuas no setor da indústria da construção.

5.2 Estudo de caso 2: Ambiente interno

Em resposta à necessidade de procedimentos mais produtivos em projetos de construções, esse estudo desenvolveu um fluxo de trabalho otimizado, com uso de dispositivos móveis, reduzindo o tempo de captura de dados em ambiente interno, em determinada empresa do ramo da construção, da cidade de Pelotas/RS.

Fases iniciais caracterizaram-se pelo entendimento do contexto da empresa e encontros entre os participantes, abordando um procedimento para solucionar verificações manuais, na maioria das vezes demoradas e repetitivas, discutindo recursos disponíveis, e equipamentos para viabilidade prática.

Os procedimentos adotados neste estudo podem ser divididos em cinco etapas: (1) Planejamento, (2) Aquisição, (3) Processamento, (4) Reconstrução BIM, (5) análise e verificação.

5.2.1 Planejamento

Encontro 01: Alinhamentos e requisitos de projeto.

O primeiro encontro ocorreu na sede da empresa, durante a manhã do dia 28/09/23, foi o primeiro contato entre participantes (o pesquisador e o representante da empresa). A reunião teve o propósito de conhecer a realidade operacional da empresa, foram discutidas inicialmente as perspectivas de melhora em procedimentos estabelecidos, com base em diagnóstico abrangente, no final deveriam ser apresentadas diretrizes para otimização da documentação *as-built*.

Requisitos observados para sequência adequada das atividades:

- Primeiro contato com representantes da empresa;
- Obter documentação existente (projeto executivo), figura 37;
- Reconhecer processos padrões, durante a montagem e fabricação de tubulações, em ambiente interno;
- Conferência de equipamentos e recursos computacionais.

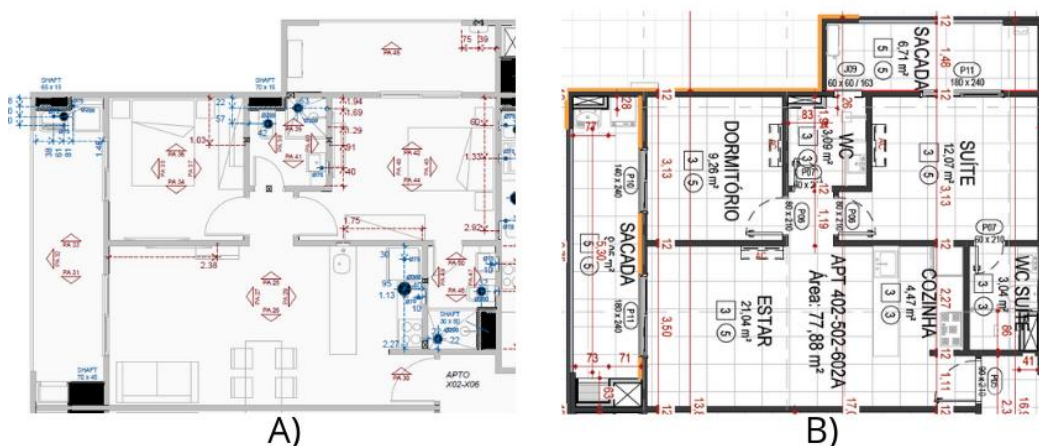


Figura 37: A) Planta baixa (projeto executivo) B). Projeto legal. Documentação existente fornecida pelo representante. Fonte: O autor (2023).

Com base nas demandas solicitadas, o pesquisador assumiu o compromisso de desenvolver um procedimento para detectar os componentes hidráulicos executados na obra, especificando dois pontos de interesse: (1) parede da cozinha e (2) parede do banheiro, ambos localizados no interior do apartamento.

Encontro 02: Visita técnica e aquisição de dados em ambiente interno.

O segundo encontro ocorreu presencialmente no canteiro de obras, na manhã do dia 02/10/23. Nesta fase, os participantes, com acompanhamento do representante da empresa, observaram como os *kits* hidrossanitários são montados e instalados. Logo após, a coleta de dados foi realizada em ambiente interno de apartamento, n.º 506.

A tabela 7 mostra o tempo necessário de cada atividade na fase de planejamento. Foram incluídos o tempo de reuniões, preparação de equipamentos, tempo de deslocamento, e atividades que precederam a aquisição de dados.

Tabela 7: Duração das atividades de planejamento. Fonte: O autor (2023).

	Planejamento	Descrição
Encontro 01	2h 45m	Reunião na sede da empresa, requisitos de projeto, soluções para automação.
Encontro 02	Turno da manhã	Visita técnica in loco, aquisição de dados.

5.2.2 Aquisição de dados

O objeto de estudo foi um apartamento localizado no 5º pavimento, o qual possui uma área de 76,47 m². Os Kits hidráulicos já haviam sido instalados previamente tornando a visualização da instalação finalizada na parede, Figura 29.

No caso, o sistema está posicionado dentro de negativos na parede, a altura do chão entre 45 à 55cm. Os tubos PPR são usados para transportar água fria e água quente em sistemas hidráulicos, geralmente com 20 a 25mm de diâmetro.

Um levantamento tradicional com trena a laser, antecedeu a aquisição com dispositivo móvel, realizado para extrair medidas conhecidas. A obtenção de medidas

com técnicas tradicionais já estava prevista, pois fornecem medidas reais para futuras comparações e análises entre diferentes técnicas.

Posteriormente, com o uso de um sensor incorporado ao dispositivo móvel, foi possível digitalizar o ambiente interno Figura 38.

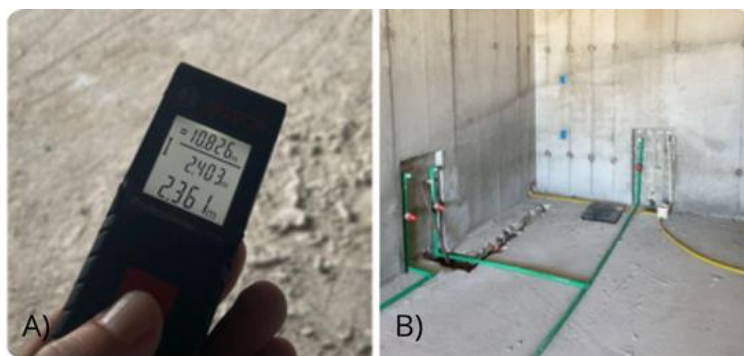


Figura 38: A) Medição tradicional com trena Laser BOSCH B) Ambiente interno de apartamento em construção. Fonte: O autor, (2023).

Aquisição de dados com dispositivo móvel.

A recomendação sugerida pelo desenvolvedor da aplicação Polycan, consiste em realizar movimentos “circulares” em ambientes internos, direcionando o sensor do dispositivo para as superfícies (paredes, pisos, teto). Foram previstos 2 levantamentos de captura, para garantir o registro completo. O usuário então percorreu o interior do apartamento lentamente, portando o *smartphone*, Figura 39.



Figura 39: Aquisição de dados 3D, com sensor *LiDAR*.
Fonte: Adaptado pelo autor 2023.

Ao final deste processo, o processamento de dados na plataforma Polycan, ficou disponível em poucos minutos e o resultado pode ser verificado na tela do *smartphone*. O usuário pode inspecionar o modelo, se encontrar falha ou inconsistência, repete-se o escaneamento.

Com base nos resultados, o método com *smartphone* demonstrou ser ágil, não somente na captura, mas o processamento de dados do ambiente interno. Na Tabela 08, pode-se conferir a duração necessária para efetivar a etapa.

Tabela 08: Duração entre etapas. Fonte: O autor (2023).

	Aquisição de dados (minutos)	Processamento (minutos)	Total Levantamento
Levantamento 01	3:36	3:15	6:51
Levantamento 02	4:22	5:10	9:32
Levantamento Tradicional com (trena) e prancheta	15:35	x	15:35

A seguir, a exportação da nuvem de pontos é gerada. O usuário determinou o formato desejado, compatível com softwares BIM. A visualização do modelo 3D pode ser conferida na Figura 40.

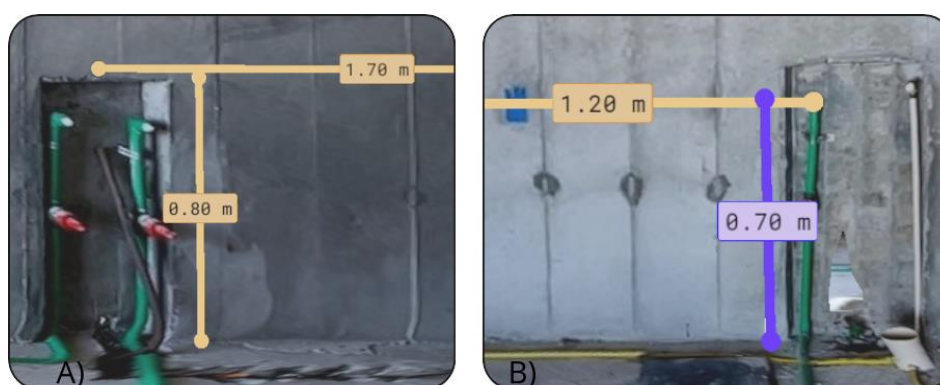


Figura 40: A) Detalhe tubulação (negativo em parede) B) Detalhe tubulação cozinha;

Fonte: O autor (2023).

Entre os formatos de nuvem de pontos disponíveis, (dxf, laz, pts, x,y,z, ply) selecionamos a saída de dados em .laz, que armazena pontos *LiDAR*, para importação no programa Autodesk Recap, onde ocorreram operações para tratamento e limpeza de pontos indesejáveis.

5.2.3 Processamento

Em suma, o Autodesk Recap auxilia na seleção e na limpeza de dados brutos, antes de ser vinculado a um modelo BIM. Esse processo em maior parte foi realizado manualmente. Na Figura 41, pode-se visualizar como ocorreu esse processo.

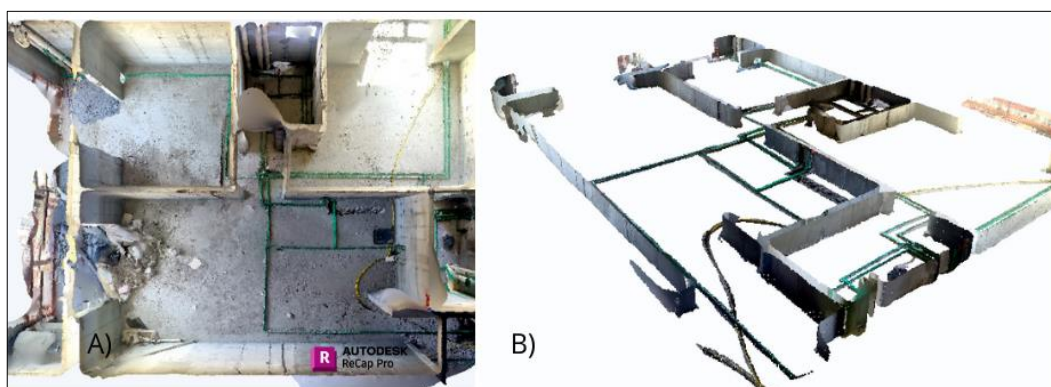


Figura 41: A) Nuvem de pontos bruta; B) Nuvem de pontos tratada.

Fonte: O autor, (2023).

A duração da atividade demandou cerca de 27:00 minutos. Caracterizou-se pela seleção de regiões, e remoção de pontos desnecessários. O Recap foi adquirido por licença educacional da Autodesk. Destaca-se também os formatos de saída. rcp e rcs, que foram vinculados a *softwares* BIM, para efetivação da etapa seguinte.

5.2.4 Reconstrução BIM.

A etapa da reconstrução BIM, pretendeu recriar a modelagem com base na nuvem de pontos 3D, fornecida pelo Recap (rcp. files). A nuvem de pontos pode ser facilmente inserida na área de trabalho do programa Autodesk Revit.

O arquivo foi inserido manualmente, alguns ajustes foram necessários através de ferramentas básicas, para movimentar e rotacionar a nuvem de pontos, adequando a geometria sobre o plano de trabalho, e eixo ortogonal. A Figura 42 mostra o resultado da efetivação dessa etapa.

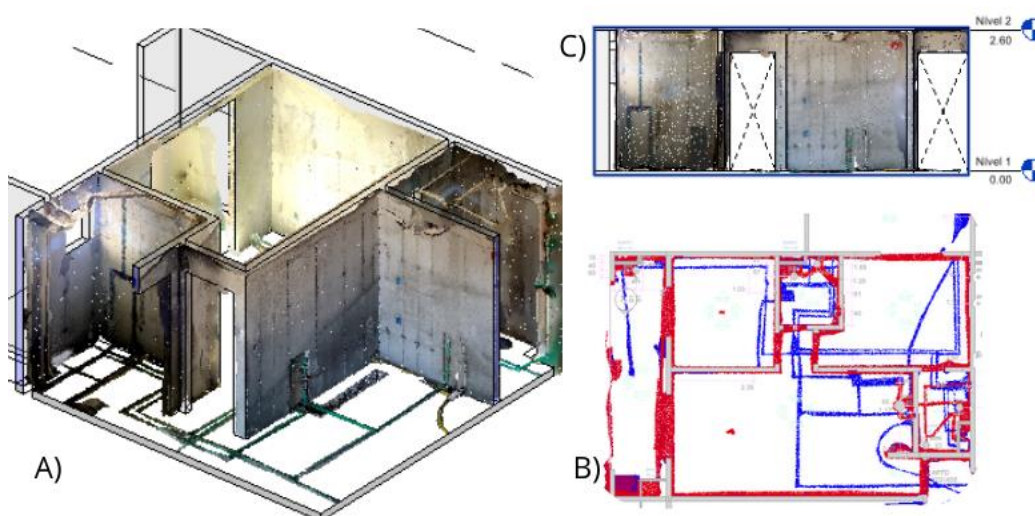


Figura 42: A) Reconstrução do modelo BIM B) Planta Baixa, funções de visibilidade; C) Elevação interna. Fonte: Autodesk Revit, 2023.

Como o Revit não oferece funções de reconstrução e modelagem automática, essa atividade procedeu-se manualmente. Para concluir o processo e restituir os componentes da construção, alguns aspectos foram observados. Além de exigirem atenção cautelosa, e esforços do usuário para reconstrução e interpretação adequada da geometria, essa parte tornou-se a mais demorada e trabalhosa. A Tabela 09 mostra os resultados obtidos nessa etapa.

Tabela 09: Duração das atividades. Fonte: O autor (2023).

Atividade	Duração
Ajustes preliminares	02h 25m
Reconstrução/modelagem	09h 45m
Total	11h 70m

5.2.5 Verificação e Análise

Para efetivar esse processo, o conjunto de medidas extraídas anteriormente foram considerados, comparando os erros médios das medidas obtidas, entre o método tradicional e o levantamento otimizado, conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Comparação de medidas. Fonte: O autor (2023).

Método Tradicional (cm)	Levantamento automatizado (cm)	Diferença (cm)	Erro médio (cm)
1,00; 3,43; 1,40; 2,95; 3,12; 0,93; 1,65; 3,50; 3,11; 2,25; 1,49;	1,07; 3,48; 1,44; 2,98; 3,15; 0,95; 1,68; 3,55; 3,10; 2,26; 1,50;	0,07; 0,05; 0,04; 0,03; 0,03; 0,02; 0,03; 0,05; 0,01; 0,01; 0,01;	<u>0,35</u> 11
24,83	25,16	0,35	0,03 cm

Com base nessa análise, conclui-se que a precisão do método otimizado, com uso de sensor *LiDAR*, apresentou 0,03 cm de erro médio, em relação às medidas reais obtidas por meio de técnicas tradicionais, como já era esperado. Apesar de que essa margem de erro médio de 0,03 cm seja vantajosa, fatores no decorrer da aplicação prática revelaram algumas interferências, que prejudicaram o resultado final.

Esses aspectos incluem a presença de obstáculos físicos como materiais e resíduos de obras, variações sobre condições de iluminação durante o levantamento de dados, bem como reflexos em algumas superfícies, foram constatados no interior do ambiente interno.

Considerando o progresso desse estágio, aspectos positivos e negativos ao longo do processo foram destacados (Tabela 11).

Tabela 11: Vantagens e desvantagens. Fonte: O autor (2023).

Etapas	Vantagens	Desvantagens
Planejamento	Reuniões iniciais	Falha na comunicação Expectativas divergentes entre os participantes
Aquisição de dados	Redução do tempo de coleta Não requer capacitação avançada do operador.	Deformações ocorridas durante a aquisição, movimentos rápidos com o <i>smartphone</i> . Falta de localização GPS; Falta de iluminação interna adequada.

		Elementos temporários, resíduos de obra, acúmulo de material;
Processamento	Agilidade no processamento Exportação em diferentes formatos de arquivo	Limpeza e tratamento de nuvem de pontos demorada e Trabalhosa. Transferência entre <i>softwares</i>
Reconstrução BIM	Processo de importação simples.	Visibilidade da nuvem de pontos Exigiu capacidade computacional

Este estudo de caso demonstra que técnicas otimizadas para levantamento de dados podem favorecer significativamente o registro e extração de informações da área de interesse. No entanto, a complexidade em etapas de processamento e a exigência de procedimentos manuais demandaram mais esforços do usuário, além de requerer maior capacidade computacional, para manipular dados em *softwares* específicos.

5.3 Estudo de caso 3: Ambiente externo

O estudo de caso 3 foi realizado na cidade de Santa Maria/RS, dia 17 de junho de 2024, em ambiente externo. Esforços foram dedicados para demonstrar técnicas de levantamento de dados, conferências dimensionais em paredes estruturais, bem como, recomendar fluxo de trabalho otimizado para a geração da documentação *as-built*, em edificação multifamiliar na fase de execução.

5.3.1 Planejamento.

Inicialmente foi prevista uma reunião presencial, entre o pesquisador e o engenheiro da obra. Objetivos preliminares ressaltam requisitos para alinhamento das expectativas, a definição de áreas de interesse, e um cronograma de atividades. Para realização da atividade foram discutidas as necessidades, e as vantagens da documentação atualizada.

Após o primeiro contato, determinou-se que o foco do estudo seria a área externa de um bloco residencial. Os requisitos incluíram a identificação de desvios em relação ao projeto inicial, demonstrando um procedimento eficaz para verificar as condições reais e a sequência de atividades para desenvolver a documentação *as-built*. A Tabela 12 apresenta a duração das etapas iniciais e a Figura 43, destaca a documentação existente (projeto executivo), fornecida pelo representante da empresa.

Tabela 12: Duração da atividade. Fonte: O autor (2024).

Encontros	Duração	Objetivos
Reunião presencial 10/07/2024	01h:45m	Primeiro contato Reconhecimento <i>in loco</i> Requisitos de projeto documentação existente (Figura 43)
Aquisição de dados 17/07/2024	12:15 minutos	Levantamento tradicional
	08:10 minutos	Levantamento aéreo

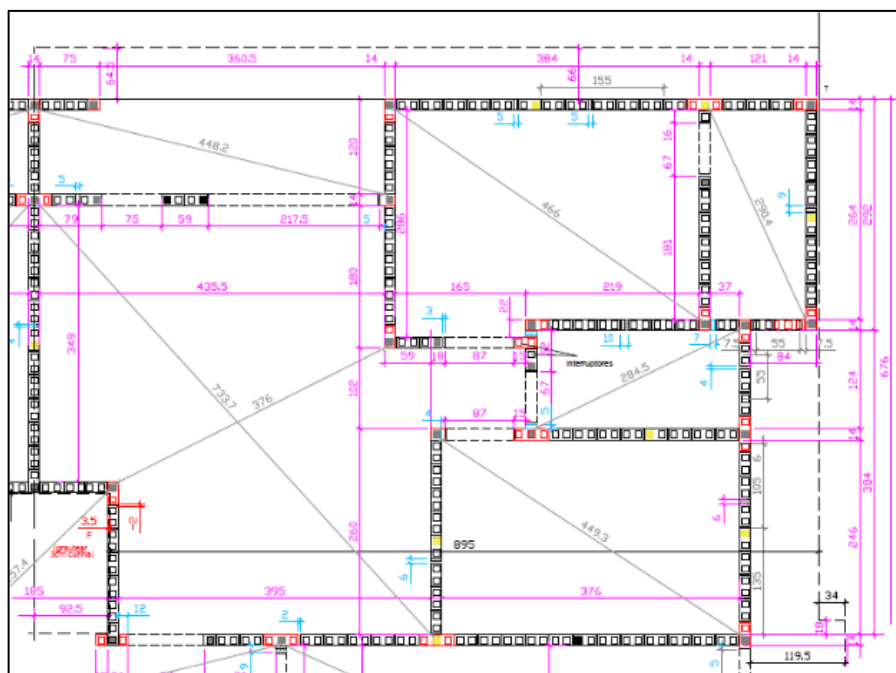


Figura 43: Documentação existente do apartamento residencial, fornecida pelo representante da empresa. Fonte: O autor (2024).

5.3.2 Aquisição de dados.

A área de interesse localiza-se no último pavimento do edifício, onde a alvenaria estrutural (blocos cerâmicos) estava sendo executada.

Inicialmente um conjunto de medidas foi coletada por meio de técnica tradicional, com uso de trena métrica a *laser* e prancheta para anotações. Essa atividade demandou cerca de 12:15 minutos, sendo significativa para extração das medidas reais, servindo de referência, para verificações e análises em etapas subsequentes.

Após efetuar o levantamento manual, realizou-se o levantamento aéreo, para aquisição do conjunto de imagens no entorno do (canteiro de obras). Com uso de um VANT, fotografias da área de interesse foram capturadas, sobre o canteiro de obras em operação. A etapa foi finalizada em 8:10 minutos, extraídas 263 imagens do local.

A aquisição de imagens com VANT ocorreu manualmente, devido a condições externas, como intensas rajadas de ventos durante o procedimento. Essa decisão, permitiu maior controle para operar o equipamento, prevenindo situações indesejáveis como acidentes, riscos para o equipamento (Figura 44).



Figura 44: Técnica de aquisição de dados com fotogrametria aérea. Fonte: O autor (2024).

O sobrevoo consistiu em percursos aéreos de idas e vindas, rotações circulares ao entorno da edificação, para garantir o cobrimento adequado dos elementos. A altura do VANT determinada, manteve uma altura segura considerando que o canteiro se encontrava em operação, cerca de 15 metros acima da área de interesse. Em seguida, determinou-se a captura das imagens a cada dois segundos.

O VANT interagiu diretamente, seu funcionamento dependeu da conexão com *smartphone*, exibindo na tela em tempo real as funções e o andamento da atividade. A proximidade do objeto capturado, foi um ponto positivo para registrar detalhes específicos da alvenaria em execução, apesar da presença e movimentações de operários, máquinas e elementos temporários, resultou na cobertura completa e abrangente do local.

Em ambiente de escritório, após a etapa de coleta de dados, as imagens armazenadas em cartão de memória, puderam ser transferidas para o computador. O material completo obtido foi analisado, imagens que apresentaram defeitos de foco, e orientação puderam ser removidas (Figura 45).



Figura 45: Conjunto de imagens capturadas. Fonte: O autor (2024).

A seguir, são descritas as informações relevantes na etapa de aquisição de dados (Tabela 13).

Tabela 13: Duração da atividade. Fonte: O autor (2024).

Endereço da área de interesse	Empreendimento ORION Rua José Chagas Seixas, Esq. Ana Neri - Bairro Noal, Santa Maria - RS.
Data/hora	17/07/2024 - 15:05 - 15:45
Tempo de coleta (levantamento tradicional)	12:15 minutos
Tempo de coleta (levantamento aéreo)	08:10 minutos
Quantidade de imagens	263
Tamanho do arquivo	1,3 Gb
Baterias utilizadas	1

5.3.3 Processamento

Essa etapa adotou uma abordagem de processamento baseada na *web*, destacando pontos decisivos na utilização da plataforma do Polycan, para o processamento fotogramétrico.

Após carregadas as imagens, o processamento levou cerca de 40 minutos, o modelo tridimensional ficou disponível para visualização (Figura 46).

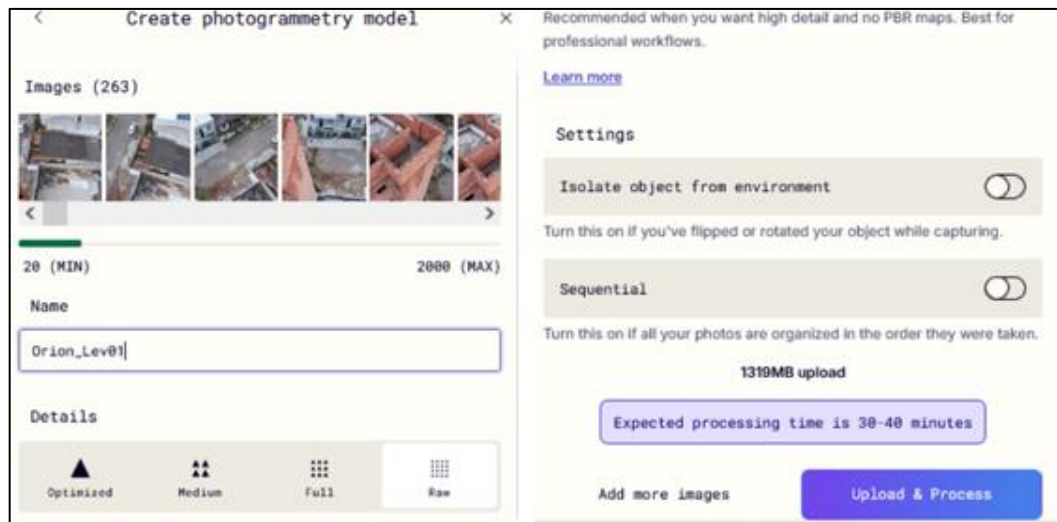


Figura 46: Carregamento de imagens na Plataforma Polycan. Fonte: O autor (2024).

Após o processamento, a escala do modelo 3D não estava conforme as medidas obtidas *in loco*. Para resolver esse problema, o usuário corrigiu medidas aprimorando a escala do modelo (Figura 47).



Figura 47: (A) Perspectiva externa; (B) Implantação planificada.

Fonte: O autor (2024).



Figura 48: Ferramenta de medição 3D.

Fonte: O autor (2024).

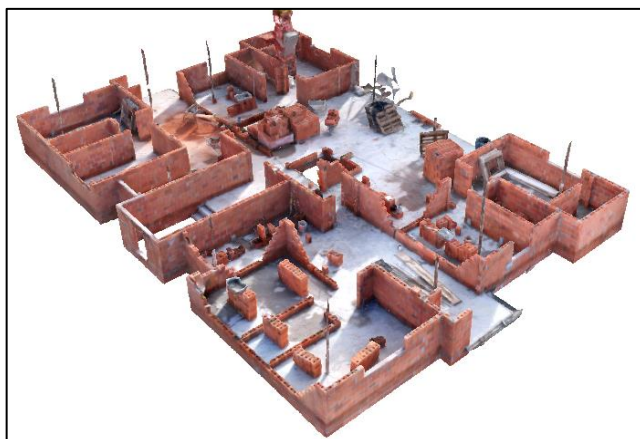


Figura 49: Recorte na Geometria tridimensional da edificação (área de interesse).

Fonte: O autor (2024).

Visto isso, é necessário que antes da exportação da nuvem de pontos, seja efetuado em recorte, destacando somente a área de interesse. Essas tarefas foram essenciais para reduzir o tamanho do arquivo. O Polycan oferece inúmeros formatos de arquivos para exportação, nesse caso, escolheu-se o formato, dxf. por sua facilidade no vínculo com *software* BIM.

Apesar das modificações realizadas no modelo 3D, a plataforma não atualizou o recorte, fornecendo somente a geometria original, resultando em um longo período de espera para concluir a exportação do arquivo. Ao final, o Polycan, entregou o arquivo, foi escolhido o formato dxf., porém o tamanho do arquivo que comporta a nuvem de pontos, devida a escolha do usuário para processamento detalhado, ficou em 1,36GB.

5.3.4 Reconstrução BIM.

Essa etapa compreende procedimentos para recriar e remodelar os componentes construídos em *software* BIM, nesse caso foi adotado o programa Autodesk Revit Architecture. Após inúmeras tentativas para vincular o modelo 3D, na área de trabalho do Autodesk Revit, as operações foram comprometidas devido o enorme tamanho do arquivo. O *Software* apresentou dificuldades durante o carregamento e visualização, da mesma forma pontos críticos, como travamentos e longos intervalos sem responder, prejudicaram o desempenho ao longo dessa atividade.

Após constatar essas dificuldades durante a importação, e a exigência de maiores recursos computacionais para vincular a nuvem de pontos, essa situação precisou ser contornada, e optar uma abordagem alternativa. Para solucionar isso, foi considerado utilizar um formato de arquivo disponibilizado pelo Polycan, chamado “*blueprint*”.

Este tipo de arquivo refere-se a uma representação planificada da área de interesse, contem resolução de 2058x1453 e tamanho de arquivo de 4,86 MB, permitindo o vínculo em tempo hábil e serviu de referência para reconstrução do modelo BIM. Em seguida, verificou-se a exportação do *blue print* e sua importação. (Figura 50).

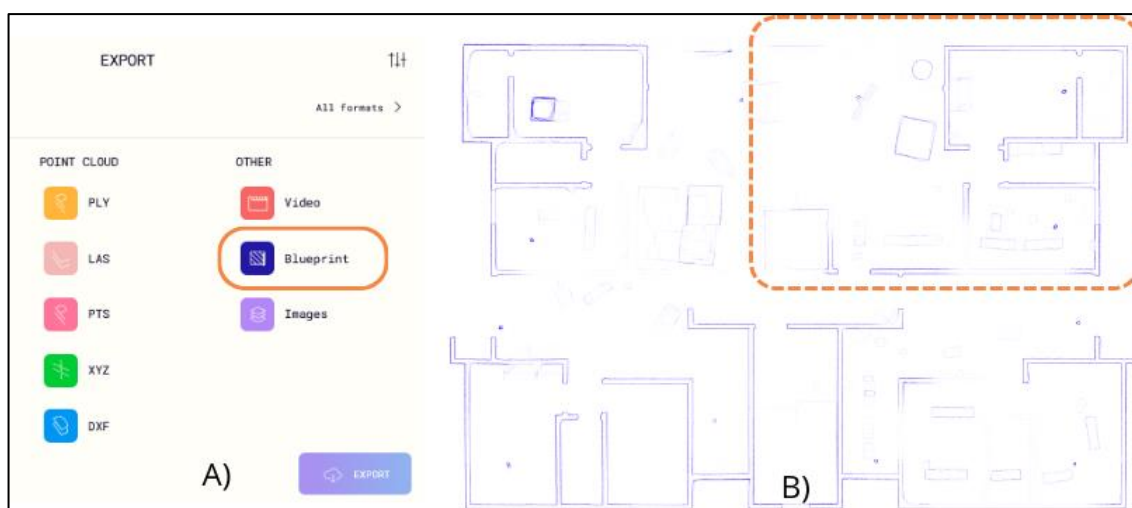


Figura 50: (A) Exportação do *Blueprint*; (B) Visualização do *Blueprint*, e definição da área de interesse. Fonte: O autor (2024).

As próximas etapas caracterizam-se por: (1) importação da imagem; (2) rotações e ajustes na escala, correspondendo as medidas conhecidas; (3) criação de eixos de referência; (4) modelagem das paredes. Essa solução tornou-se adequada, devido ao tamanho do arquivo da nuvem de pontos exigir maior capacidade do computador para vincular o arquivo, no programa BIM. As etapas desse processo podem ser acompanhadas na Figura 51.

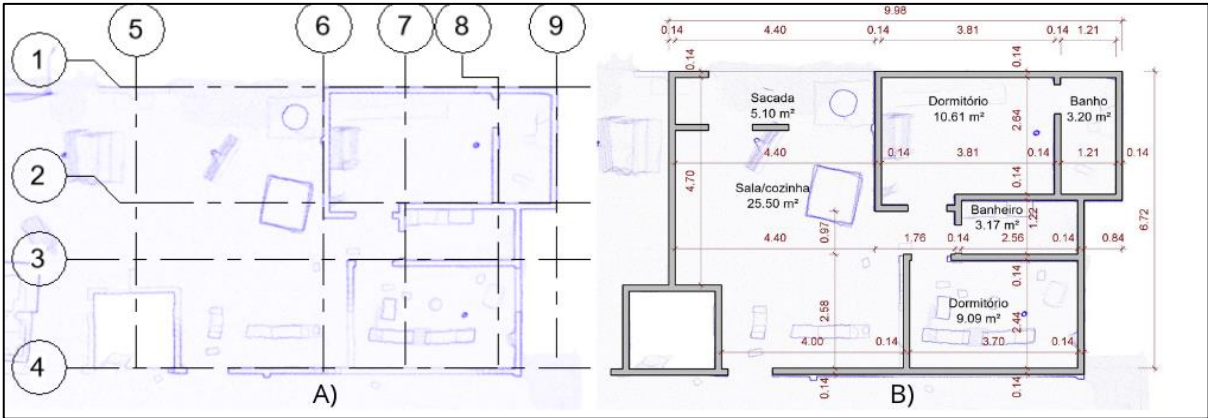


Figura 51: (A) Geração de eixos de referência (B) Paredes sobrepostas aos dados de entrada. Fonte: O autor (2024).

Com base nisso, a reconstrução pode ser concluída. Destaca-se a funcionalidade na transferência e importação dos dados de entrada, por serem leves e representarem as características físicas da área de interesse, essa atividade completa foi finalizada em 45:00 minutos, sem interferências, exigindo baixo recurso computacional.

5.3.5 Análise e verificação.

Após concluir a reconstrução BIM, procedeu-se à análise das diferenças entre ambas técnicas de aquisição de dados. Essa fase compara as medidas extraídas durante levantamento tradicional, com dimensões obtidas por técnica de fotogrametria aérea. Para calcular o erro médio, precisamos encontrar a diferença entre cada par de medições correspondentes, somar essas diferenças, e depois dividir pelo número total de medições.

Tabela 14: Comparação entre medidas. Fonte: O autor (2024).

Método Tradicional (cm)	Levantamento automatizado (cm)	Diferenças (cm)	Erro médio (cm)
1,21; 2,64; 3,80; 1,22; 2,56; 2,44; 3,70; 0,67; 0,64; 0,86; 0,86; 1,41.	1,22; 2,64; 3,80; 1,22; 2,55; 2,45; 3,77; 0,68; 0,64; 0,86; 0,88; 1,41.	0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,07; 0,01; 0,00; 0,00; 0,02; 0,00	<u>0,13</u> cm 12
22,01 (cm)	22,12 (cm)	0,13 (cm)	0,01 (cm)

Ao realizar a devida comparação entre distintas técnicas, constatou-se que o erro médio estabelecido ficou em 0,01 centímetros. O resultado demonstra que as diferenças entre medições tradicionais, e a técnica de fotogrametria aérea são mínimas, alcançando métricas precisas. Verificações das dimensões extraídas no modelo 3D são apresentadas (Figura 52).

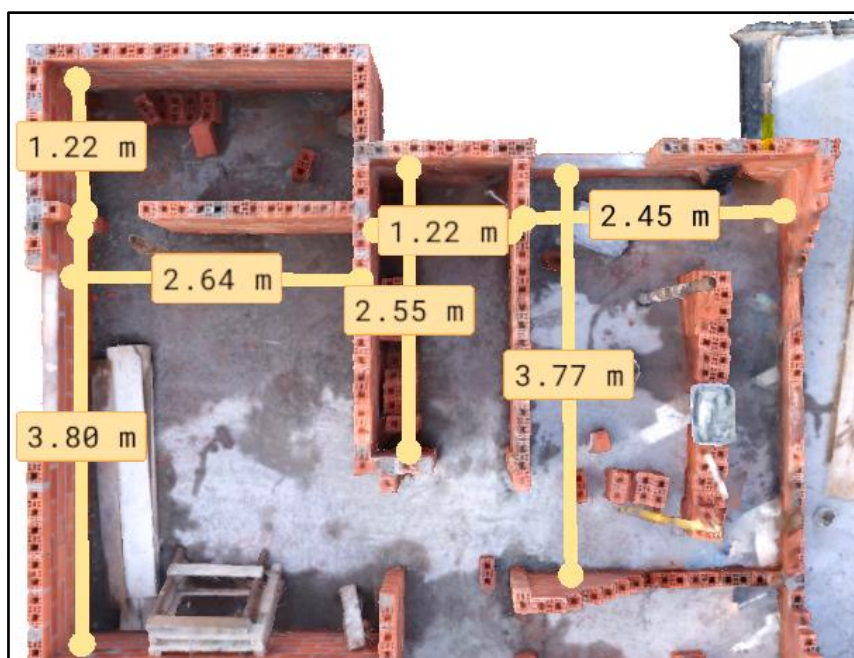


Figura 52: Extração de medidas no modelo 3D, disponível na plataforma web, Polycan.

Fonte: O autor (2024).

Apesar da comparação métrica entre ambas as técnicas de medição sejam mínimas, alguns pontos críticos ao longo do processo foram observados. Aspectos que tangem o momento que o sobrevoo é executado, fatores como intensidade dos ventos gerou certa instabilidade no VANT, para a captura das imagens.

Sobre o canteiro de obras estar em operação, a presença de equipamentos, materiais e resíduos, bem como, atividades inerentes a execução de serviços, movimentação de operários e máquinas, devem ser considerados pois são capturados durante o levantamento. Apesar disso, o uso de recursos interativos avançados para operações de processamento na plataforma do Polycan, contribuiu consideravelmente para remoção desses obstáculos, e objetos indesejáveis presentes na cena, fornecendo um modelo tridimensional otimizado, livre de elementos secundários.

Etapas de processamento de dados não apresentaram dificuldades, demonstraram ser hábil em relação ao tempo, considerando que processamentos baseados em *hardware* demandam tempo e interferências manuais para obter o efeito desejado.

Entretanto, destaca-se apenas a dificuldade durante a exportação da nuvem de pontos, devido à plataforma disponibilizar o modelo completo, afetando a importação dentro do *software* BIM. De modo geral, aspectos positivos e negativos, são descritos, evidenciando pontos pertinentes ao longo da aplicação prática (Tabela 15).

Tabela 15: Vantagem e desvantagens. Fonte: O autor (2024).

Etapas	Vantagens	Desvantagens
Planejamento	Encontro presencial Documentação existente Boa comunicação	Hora disponível para levantamento Fase da construção
Aquisição	Levantamento tradicional Boa cobertura das imagens em área de interesse Duração da atividade	Exige habilidade do operador Intensidade dos ventos Canteiro de obras em operação Elementos (maquinas, material, resíduos) Movimentos de operários
Processamento	Redução do tempo Sem interferência manual Plataforma na <i>web</i>	Exportação de grande volume de dados
Reconstrução BIM	Fácil importação dos dados de entrada	Exige domínio técnico do usuário Ajustes iniciais (escala, unidades)

O procedimento operacional atingiu o objetivo desejado, embora que eventuais obstáculos foram constatados, o modelo BIM da área de interesse pode ser representado.

Ao realizar as verificações das medidas obtidas, demonstrou-se a eficácia da técnica de fotogrametria aérea, e do processamento digital baseado na *web*.

5.4 Estudo de caso 4: Ambiente interno

Esse estudo envolveu técnicas de captura de dados com dispositivos móveis em ambiente interno de apartamento e fluxo de trabalho para geração de documentos atualizados, em colaboração com empresa do ramo da construção, na cidade de Santa Maria/RS (Figura 53).

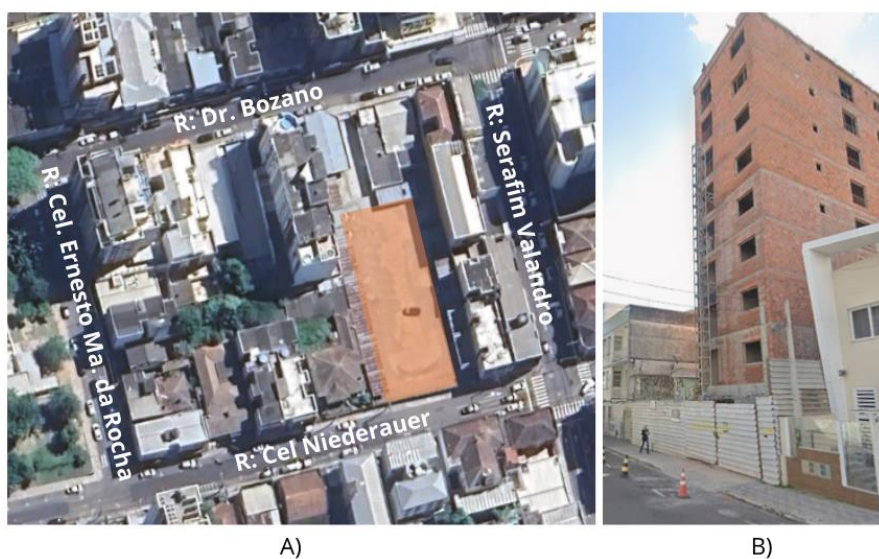


Figura 53: (A) Localização da construção; (B) Perspectiva do edifício. Fonte: Google Maps, (2024).

O sistema construtivo da edificação é a alvenaria estrutural, com blocos cerâmicos, amplamente difundido por apresentar maior produtividade, simplicidade na execução e resistência estrutural.

Etapas iniciais foram marcadas por encontros presenciais, reconhecimento organizacional da empresa e visitas técnicas no canteiro de obras que visaram o contato com a área de interesse, localizada no sétimo pavimento da edificação.

A sequência de atividades foi dividida em quatro etapas:

- 1. **Planejamento:** Definição dos requisitos, preparação dos equipamentos.
- 2. **Aquisição:** Coleta de dados no ambiente interno.
- 3. **Reconstrução BIM:** Integração dos dados no modelo BIM (*Building Information Modeling*) para fins de documentação.
- 4. **Análise e verificação:** verificação de medidas e dados, para garantir a validação da técnica otimizada.

5.4.1 Planejamento

O primeiro encontro ocorreu no local da obra, dia 04/06/24, entre o pesquisador e o engenheiro responsável. Com base nos relatos, foi proposto um método eficaz sobre os serviços executados e verificações dimensionais, em componentes de alvenaria. A duração das atividades é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16: Duração da reunião, para planejamento da atividade. Fonte: O autor (2024).

Encontros	Descrição	Duração
Encontro 01	Primeiro contato Reconhecimento <i>in loco</i> Requisitos de projeto Soluções para automação	00:45 minutos
Encontro 02	Aquisição de dados	2h30 minutos

Ao cumprir essa etapa, o planejamento serviu de preparo e compreensão dos objetivos a serem alcançados. As partes envolvidas concordaram, que a entrega da documentação ocorreria através um caderno de especificações. Itens observados nessa fase foram: (1) Obter a documentação existente; (2) Reconhecimento da área de interesse; (3) Seleção de instrumentos; (4) Formatos de entrega, objetivos BIM.

5.4.2 Aquisição de dados.

A coleta de dados foi conduzida no dia 11/06/24, na parte da manhã. O apartamento designado para aplicação situa-se no 7º pavimento, com área de

26,09m², e foi escolhido devida as paredes não estarem rebocadas, permitindo a visibilidade de componentes, pertinentes a captura de dados.

Levantamento tradicional

Foi realizado um levantamento tradicional utilizando uma trena métrica a *laser*, e anotações manuais na prancheta, para extrair dimensões internas do ambiente. Essa abordagem, apesar de exigir experiência e prática, demonstrou ser demorada e trabalhosa, para transferência de medidas e anotação no papel. A próxima imagem podemos visualizar o levantamento tradicional com trena métrica (Figura 54).

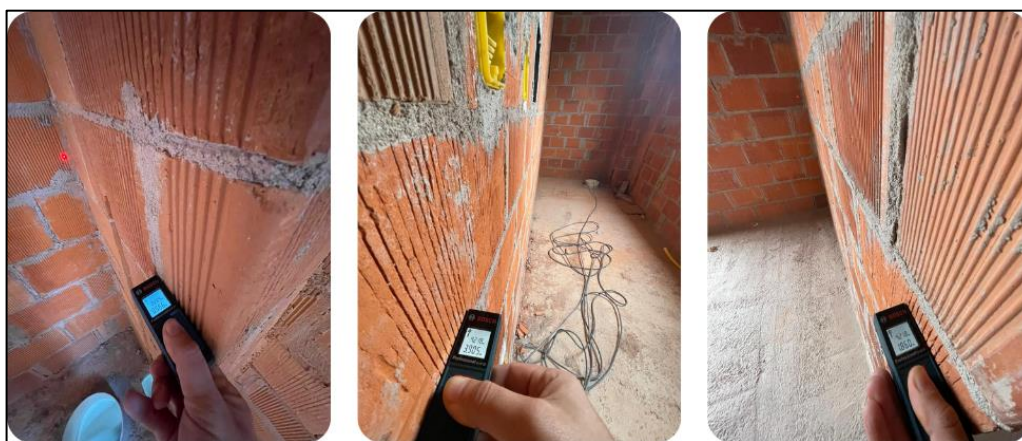


Figura 54: Levantamento tradicional com trena métrica. Fonte: O autor (2024).

Levantamento Otimizado

A seguir, realizou-se a captura de dados com uso do dispositivo móvel. Essa abordagem foi apoiada por recursos de sensores ópticos e serviços de localização, disponibilizados pelo aplicativo Polycan.

O operador percorreu o ambiente em círculos, realizando movimentos suaves e contínuos, portando em mãos o dispositivo, e direcionando o sensor de luz para as superfícies internas. O andamento da atividade pode ser visualizado no *smartphone*, para conferir o cobrimento e as superfícies que ainda restavam.

A tarefa pode ser pausada e reiniciada. Algumas situações prejudicam o desempenho da atividade, aspectos como excesso ou falta de iluminação adequada,

falta de localização GPS, além de, movimentos bruscos podem prejudicar a aplicação adequada. Momento que o operador efetua a coleta de dados (Figura 55).



Figura 55: Aquisição de dados em ambiente interno. Fonte: O autor, (2024).

Para assegurar a cobertura total do espaço interno, foram realizados dois levantamentos. A aplicação dessa técnica demonstrou ser produtiva, eficaz para mapear o ambiente interno, os dados foram processados em poucos minutos, em instantes o resultado pode ser visualizado e inspecionado.

Os modelos tridimensionais fornecidos, podem ser facilmente compartilhados e exportados em diferentes formatos, nesse caso, foram usadas nuvens de pontos em formatos .dxf, para reconhecimento dos componentes e reconstrução do modelo BIM.

Pode-se constatar o momento exato da captura, onde a geometria vai sendo gerada simultaneamente, e modelos entregues pelo aplicativo Polycan (Figura 56).

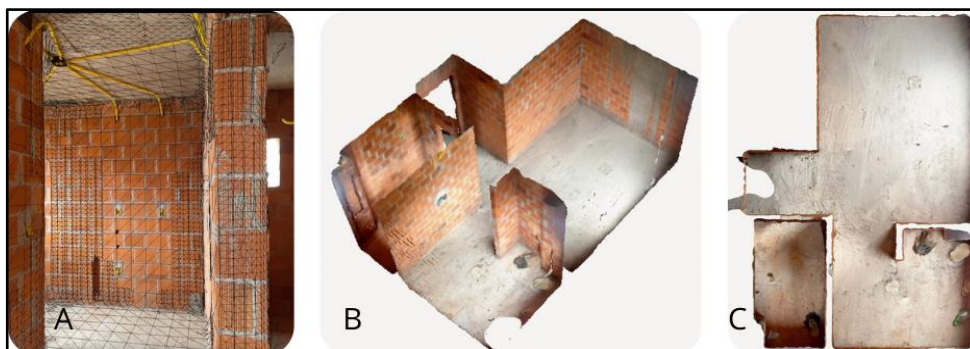


Figura 56: A) Momento da captura (construção da geometria em tempo real); B) Modelo 3D; C) Vista planificada. Fonte: O autor, (2024).

Esse processo evidencia a captura de dados otimizada para análises, documentação e tomada de decisões durante o desenvolvimento do projeto, que podem ser compartilhados e inspecionados rapidamente.

A Tabela 17 destaca a duração dessa etapa, primeiro o levantamento tradicional, e após, a técnica otimizada com uso de dispositivo móvel.

Tabela 17: Duração entre etapas. Fonte: O autor 2024.

	Aquisição de dados (minutos)	Processamento (minutos)	Total Levantamento
Levantamento tradicional com (Trena)	6:05	xx	6:05
Levantamento otimizado 01	2:51	3:25	5:76
Levantamento otimizado 02	3:48	3:47	6:95

Reconstrução BIM

Um fator significativo desse procedimento, deve-se a nuvem de pontos disponibilizada ser facilmente vinculada na interface do *software* BIM. O formato de entrada foi em dxf.

Durante esse processo, observou-se a exigência de capacitação do usuário em relação à ferramenta BIM. Essa preparação complementa o processo de modelagem e auxiliando nas etapas iniciais de configurações, como ajustes no *template*¹⁹, unidades de projeto, criação de níveis, garantiram que a reconstrução do modelo, correspondesse ao formato de entrega estabelecido entre os participantes.

¹⁹ Um template no Revit é um arquivo de modelo com configurações predefinidas que facilita o início de um novo projeto¹². Ele oferece uma estrutura já configurada, permitindo maior velocidade e fluidez no trabalho, evitando a necessidade de ajustes e configurações manuais².

A seguir, utilizou-se ferramentas básicas, para movimentar, e posicionar a nuvem de pontos no sentido ortogonal, na área de trabalho do Autodesk Revit. A reconstrução dos elementos ocorreu com base na nuvem de pontos vinculada. Essa fase, resulta em associações entre modelos, através de técnicas de engenharia reversa para recriar componentes, visto que a nuvem de pontos serve de referência, para recriar as condições físicas. O resultado desse processo pode ser verificado na Figura 57.

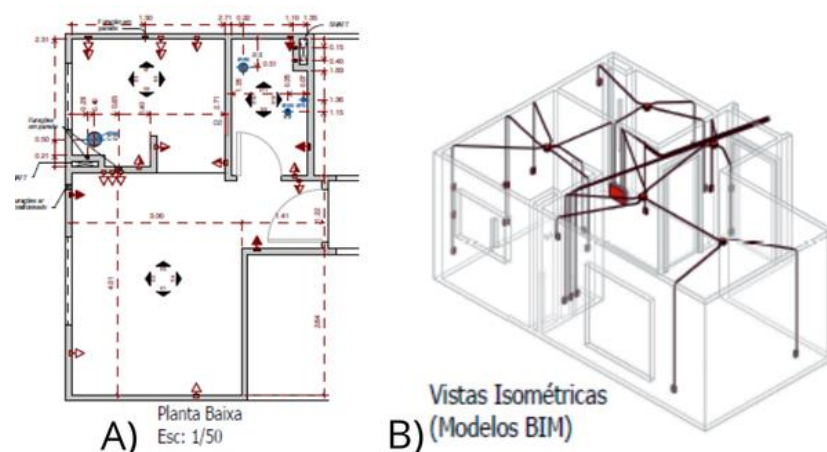


Figura 57: A) Planta baixa representação *as-built*; B) Modelo 3D Isométrico.

Fonte: O autor, (2024).

Um aspecto que contribuiu para a documentação, foram os modelos de vistas pré-configurados anteriormente, auxiliaram na visualização, para gerar um conjunto significativo de desenhos. Na Figura 58 podemos visualizar as elevações internas, obtidas nessa fase.

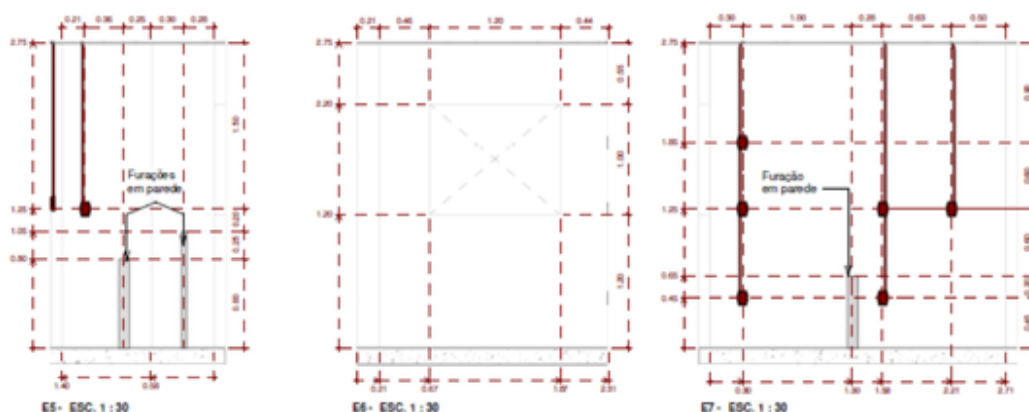


Figura 58: Elevações internas geradas.

Fonte: O autor, (2024).

Essa etapa de reconstrução BIM exigiu maior atenção do usuário para identificar e modelar elementos 3D, apesar da eficiência do Autodesk Revit, a duração da atividade durou além do previsto, devido a operações manuais, em razão do *software* escolhido não dispor de funções automatizadas para reconstrução (Tabela 18).

Tabela 18: Duração da fase reconstrução BIM. Fonte: O autor (2024).

Atividade	Duração
Ajustes preliminares	02h 25m
Reconstrução do modelo	09h 45m
Total	11h 70m

Verificação e análise

Essa etapa analisa os resultados e fornece critérios para validação da técnica otimizada. Foram realizadas verificações dimensionais para comprovar a precisão entre diferentes técnicas de captura de dados (Tabela 19)

Tabela 19: Diferenças média entre medidas. Fonte: O autor (2024).

Método Tradicional (cm)	Levantamento automatizado (cm)	Diferenças (cm)	Erro Médio (cm)
1,22; 1,41; 2,66; 3,16; 4,01; 1,50; 0,72; 0,60; 0,80; 2,10; 2,71; 2,59; 1,68; 1,36; 2,46	1,21; 1,38; 2,60; 2,99; 4,00; 1,50; 0,70; 0,59; 0,80; 2,10; 2,71; 2,56; 1,66; 1,35; 2,46	0,01; 0,03; 0,06; 0,17; 0,01; 0,00; 0,02; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,03; 0,02; 0,01; 0,00.	$\frac{0,37}{15}$
29,01	28,61	0,37	0,02 cm

Com base no resultado, apesar de algumas medidas revelarem diferenças consideráveis, em comparação geral o erro médio entre as técnicas, resultou em 0,02cm. Isso significa que a diferença é muito baixa, evidenciando a precisão

dimensional com uso de dispositivos móveis, na aquisição de dados em ambiente interno.

Ao final, aspectos positivos e negativos observados ao longo desse processo (Tabela 20).

Tabela 20: Vantagens e desvantagens. Fonte: O autor (2024).

Etapas	Vantagens	Desvantagens
Planejamento	Reconhecimento no local Boa comunicação	Não forneceu a documentação existente
Aquisição de dados	Redução do tempo Processamento simultâneo	Iluminação interna Localização GPS Movimentos bruscos
Reconstrução BIM	Importação simples Precisão para representar	Alta interferência manual Capacitação e domínio em <i>software</i>
Verificação e análise	Técnica demonstrou ser precisa, comparada ao método tradicional	Algumas medidas apresentaram diferenças consideráveis

Pontua-se os pontos críticos observados sob as etapas. Nesse contexto, a fase que demandou maior atenção e interferência manual do operador foi a reconstrução BIM. Além do tempo que não estava previsto, a capacitação do usuário nos diferentes *softwares* é essencial, para atingir os objetivos acordados previamente.

6. DIRETRIZES PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DOCUMENTAÇÃO *AS-BUILT* COM USO DE BIM E NUVEM DE PONTOS

Com base nos resultados alcançados com os estudos de caso desenvolvidos neste trabalho, um conjunto de diretrizes para otimização do processo de documentação *as-built* foi elaborado. A proposição de diretrizes não apenas considera a aplicação isolada de ferramentas, mas foca em como elas podem ser reorganizadas para gerar um procedimento adequado as necessidades existentes das organizações.

A real intenção do pesquisador, enquanto sujeito que observa o avanço da inovação digital, concentra o foco na proposição de conhecimento técnico, leva em consideração os estudos exploratórios desenvolvidos, rotinas operacionais adotadas nos estudos de caso, com intuito de compreender como a interação entre novas tecnologias pode ser maximizada para aprimorar os fluxos de trabalho dentro do processo de documentação.

A adoção de uma abordagem multidisciplinar é essencial para enfrentar os desafios impostos pelo avanço tecnológico. A pesquisa reconhece a necessidade de compreender os impactos organizacionais, os fluxos de comunicação e as adaptações culturais que surgem com a implementação de novas tecnologias. Essas experiências indicam que o sucesso da integração tecnológica não depende apenas das ferramentas em si, mas da habilidade de alinhar processos, equipes e objetivos estratégicos de forma coesa.

À medida que novos sistemas tecnológicos são desenvolvidos e se tornam disponíveis, é imperativo criar mecanismos que permitam sua adaptação e evolução contínua. O processo de documentação *as-built*, quando tratado como um ciclo iterativo supervisionado, abre espaço para reflexões e ajustes durante sua implementação. Esse ciclo iterativo permite que as organizações não apenas incorporem novas tecnologias, mas também identifiquem pontos de melhoria, promovendo um aprendizado contínuo e aprimoramento das práticas operacionais.

De modo geral, as diretrizes foram organizadas em 5 etapas: (1) Planejamento; (2) Aquisição de Dados; (3) Processamento de Dados; (4) Reconstrução BIM; e (5) Análise e Verificação.

6.1 Planejamento

Nesse estágio, deve-se observar as necessidades e requisitos específicos de cada projeto. O planejamento adequado garante que os recursos, tecnológicos e humanos, sejam empregados de forma correta. As atividades relacionadas a esta etapa incluem:

- **Definição de objetivos:** É fundamental definir claramente os requisitos de documentação de projeto solicitados. Reuniões iniciais com os envolvidos (engenheiro, cliente, arquiteto), bem como, reconhecer o contexto organizacional da empresa, ajudam a alinhar expectativas e identificar demandas no início do projeto.
- **Reconhecimento do local:** Reunir informações do local, podem incluir registros fotográficos, anotações, visam compreender as características e o contexto que se encontra o empreendimento.
- **Documentação Existente:** Obter e revisar toda a documentação existente do projeto, incluindo projetos executivos, complementares e especificações.
- **Formatos de entrega:** Definir níveis de detalhes/desenvolvimento do projeto para determinar padrões, e fornecer documentos que condizem com as necessidades dos participantes. Podem incluir entregas em formatos digitais, e estar previstos em contratos.
- **Cronograma de atividades:** Estabelecer prazos favorece o controle contínuo do processo, e ajustes conforme necessário. Podem ser criados formulários ou relatórios, prevendo metas em cada etapa.
- **Seleção de Métodos e Equipamentos:** Decidir a tecnologia adequada conforme as características específicas do projeto. Recomenda-se conferir os equipamentos antecipadamente, bem como, espaços para armazenamento de dados, antes de qualquer atividade.

6.2 Aquisição de Dados

Durante a fase de aquisição de dados, medições com métodos tradicionais, garantem informações fideis da área de interesse. Da mesma forma, a adoção de

instrumentos inovadores deve observar aspectos como condições do local, capacitação de usuários para operar os adequadamente.

- **Coletar medidas com técnicas tradicionais** (como trena) ou pontos de controle, ajudam a minimizar incertezas, garantindo a confiabilidade das medições, servem como base para validar as dimensões obtidas por métodos digitais.
- **A) Levantamento aéreo com VANTs:** Recomendável para coleta de dados em ambientes externos. Requerem o acompanhamento visual contínuo do equipamento durante a atividade, além de exigir capacitação do operador. Deve-se observar restrições para voos em áreas restritas. Parâmetros como altura de voo, sobreposição de imagens, podem ser gerados com aplicações específicas de planejamento de voo.
 - **Verificar as condições climáticas:** Planejar atividades considerando condições climáticas favoráveis, especialmente em regiões com ventos constantes.
 - **Iluminação e obstáculos:** Condições de iluminação interferem na qualidade do processo. Não se recomenda capturas em dia ensolarado, com projeção de sombras. Realizar um reconhecimento no entorno da área de interesse, ajudam a identificar obstáculos que possam interferir no levantamento.
- **B) Dispositivos Móveis:** Selecionar a aplicação correta para escanear ambientes internos. Algumas aplicações requerem assinatura para exportar dados em formatos compatíveis com *softwares* de modelagem 3D.
 - **Preparar o ambiente:** É recomendável que o ambiente esteja bem iluminado, superfícies reflexivas ou transparentes podem comprometer a captura, bem como, observar a presença de objetos e movimentos de terceiros, durante a captura de dados.
 - **Iniciar o escaneamento:** Realizar movimentos suaves e circulares, mantendo a distância média de 5 metros das superfícies e componentes.

- **Finalizar e revisar o escaneamento:** Ao concluir a captura, o aplicativo irá processar os dados e exibir o resultado na tela. O usuário pode verificar a qualidade do modelo 3D obtido, ou gerar novamente a captura.

6.3 Processamento de Dados

Os dados coletados devem ser processados visando otimizar as informações coletadas.

- **Verificação de Qualidade:** Antes de importar imagens para *softwares* de processamento, verificar a presença de imagens desfocadas ou mal alinhadas.
- **Limpeza e Tratamento:** Remover pontos desnecessários e ruídos para otimizar a qualidade visual e reduzir o volume de dados. Utilizar ferramentas de *software* como Autodesk Recap podem ajudar nesta tarefa.

6.4 Reconstrução BIM

A integração de dados 3D processados em um modelo BIM (*Building Information Modeling*) consiste na conversão de dados geométricos em modelos paramétricos.

- **Importação em Software BIM:** Etapas iniciais para vincular a nuvem de pontos devem configurar unidades, criação de níveis, e eixos de referência. Feito isso, ajustar a posição e a orientação geométrica conforme necessidade do projeto.
- **Reconstrução BIM:** Representar os elementos e componentes do ambiente, utilizando a nuvem de pontos como base de referência.
- **Determinar níveis de detalhes e desenvolvimento:** Esses padrões contribuem para alinhar expectativas de projetos, e definir critérios a serem entregues.
- **Comparação com modelos BIM existente:** Auxilia na atualização de projetos, permitem inspeções visuais para localizar objetos, detectar desvios entre elementos.

6.5 Análise e Verificação:

Uma análise precisa dos resultados é essencial para validar a exatidão das informações. Relacionar medidas extraídas por métodos tradicionais, com as dimensões geradas por técnicas otimizadas, auxilia no desempenho dos modelos *as-built*. A análise dos erros médios entre as diferentes técnicas é um indicador da confiabilidade dos resultados obtidos.

- **Verificação Dimensional:** Comparar dimensões entre o modelo 3D e as medições tradicionais para identificar desvios, podem fornecer bases métricas para validar o método.
- **Relatórios Detalhados:** Produzir relatórios que informem as etapas do processo. Incluir duração e horário de atividades, dados sobre os participantes, endereço do projeto, deslocamentos, registros fotográficos.
- **Erro médio:** Para verificar desvios e falhas na execução, o erro médio encontra a diferença entre medições correspondentes, indicam uma variação mínima, o que valida a precisão da técnica utilizada.
- **Entrega:** Fornecer a documentação final em formatos físicos e digitais adequados para uso em *softwares* BIM e outras ferramentas de gerenciamento de projetos.

As diretrizes apresentadas neste capítulo destacam a importância do planejamento adequado e da execução consistente para garantir resultados confiáveis para a documentação de projetos. A Figura 59 apresenta as diretrizes para otimização da documentação *as-built* desenvolvidas neste trabalho, apontando uma sequência de atividades.

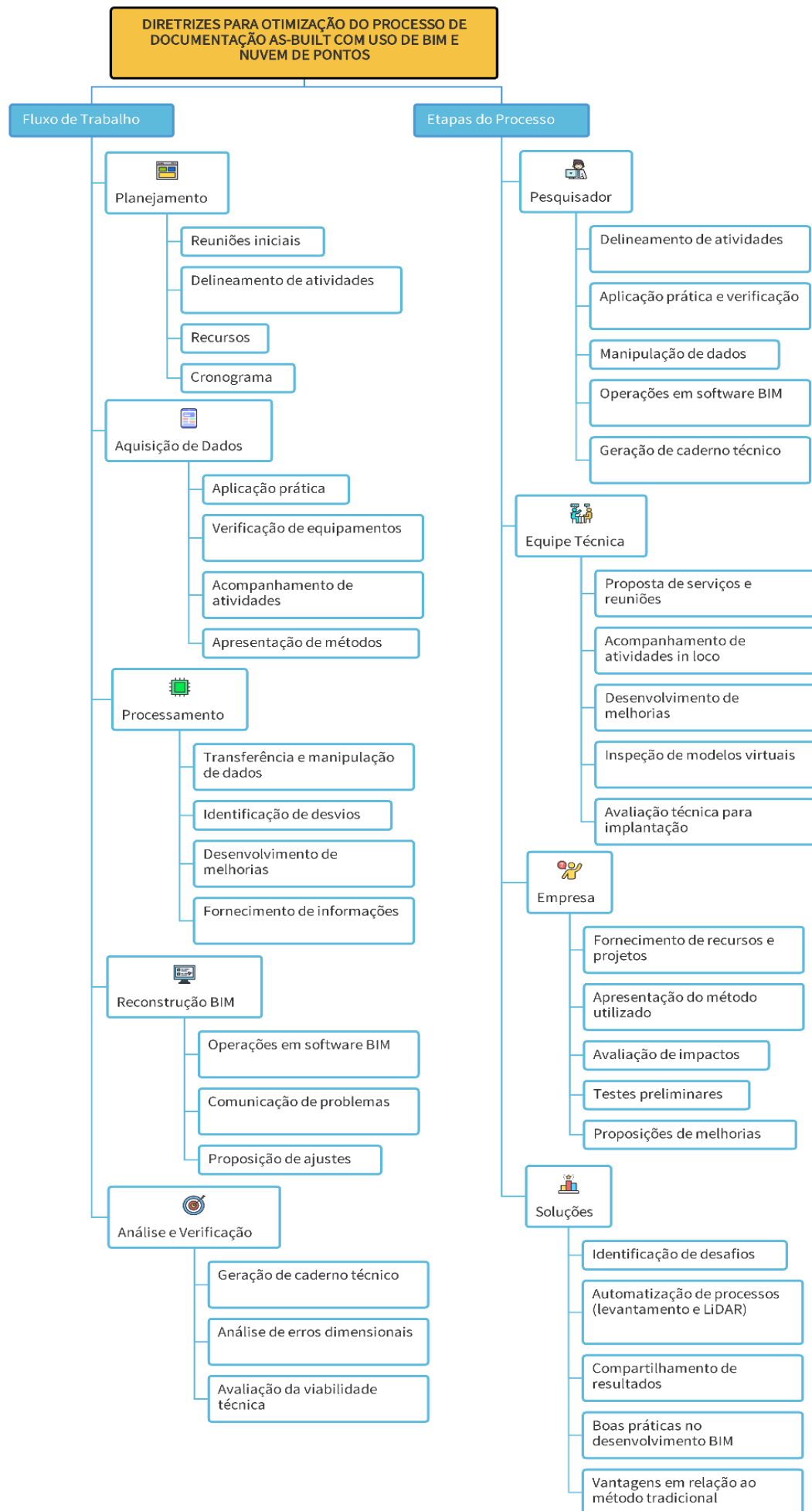


Figura 59: Diretrizes para otimização do processo de documentação *as-built*. Fonte: O autor, (2024).

7. ANÁLISE DAS DIRETRIZES

Esta seção explora as percepções do pesquisador e dos agentes envolvidos nos estudos de caso (engenheiros das empresas estudadas) acerca da utilidade e facilidade do processo de documentação *as-built*, destacando os resultados alcançados durante as demonstrações. A seguir é realizada uma análise das diretrizes propostas, com base nos constructos identificados.

7.1. Constructo utilidade

A utilidade foi definida com base em critérios como aplicabilidade e clareza, visando garantir que as diretrizes fossem não apenas teóricas, mas também práticas e adaptáveis ao contexto da indústria da construção. Para isso, foram realizados estudos de caso, nos quais as diretrizes foram aplicadas e validadas por meio de questionários e entrevistas com profissionais envolvidos, incluindo engenheiros, projetistas, representantes de empresas e o próprio pesquisador, que atuou diretamente no processo.

Os resultados demonstraram que as diretrizes propostas reorganizaram o processo tradicional de documentação *as-built*, transformando-o em um fluxo de trabalho mais eficiente e produtivo. A integração de tecnologias inovadoras, aliada ao uso de BIM, permitiu reduzir significativamente as perdas de informação e otimizar o tempo de levantamento de dados. Os participantes destacaram o entendimento claro das diretrizes, embora tenham sido identificados desafios iniciais relacionados à resistência à mudança, característica comum em um setor conservador como o da construção civil.

Apesar dos avanços, alguns desafios foram identificados, principalmente relacionados à adaptação dos participantes às novas tecnologias e metodologias. A resistência inicial foi superada por meio de demonstrações práticas, que evidenciaram os benefícios do método proposto. Esses desafios reforçam a importância de um planejamento cuidadoso e de uma abordagem gradual para a implementação de procedimentos em um setor tradicional como o da construção civil.

A validação do constructo de utilidade confirmou que as diretrizes propostas são não apenas viáveis, mas também benéficas promovendo maior eficiência, redução de custos e melhoria na qualidade da documentação *as-built*. Esses resultados abrem caminho para a adoção mais ampla de práticas inovadoras no setor, alinhando-o às demandas contemporâneas por maior produtividade e desempenho.

7.2. Constructo facilidade de uso.

Conforme descrito pelos entrevistados, ao serem questionados sobre como a documentação *as-built* é gerada em sua empresa, os participantes concordaram que essa prática tem sido realizada manualmente. Em casos de obras em andamento, a coleta de dados exige verificações constantes, realizadas por auxiliares ou colaboradores, demandando paciência e atenção na transferência das informações. O primeiro entrevistado ressaltou que, embora o processo manual seja trabalhoso, ele ainda é necessário para garantir a precisão dos dados, especialmente em obras complexas onde detalhes podem ser facilmente negligenciados.

O segundo entrevistado explicou que a empresa gera documentação *as-built* para assegurar que as informações correspondam às especificações no momento da entrega do projeto. Uma equipe específica segue uma sequência de atividades que inclui a realização de medições dos serviços finalizados e anotações manuais, com o objetivo de registrar as diferenças entre o projeto original e a execução real. Ele destacou que, apesar da eficácia comprovada desses métodos tradicionais, eles são demorados e suscetíveis a erros humanos, o que pode comprometer a qualidade final da documentação.

Quando questionados sobre como o processo facilitou o entendimento e a visualização, o primeiro entrevistado afirmou que a clareza das informações e a simplicidade do entendimento proporcionaram uma visualização detalhada do procedimento. Ele mencionou que o fluxo de trabalho adequado permitiu uma melhor organização dos dados, facilitando a identificação de desvios e a tomada de decisões mais assertivas. O segundo entrevistado complementou, que a possibilidade da coleta

de dados mais rápida minimizou a necessidade de medições constantes, eliminando atividades repetitivas e reduzindo o tempo gasto em campo.

Outro questionamento realizado foi sobre como os entrevistados avaliam a facilidade de uso das novas abordagens. O primeiro entrevistado revelou que o caderno desenvolvido tornou a documentação mais dinâmica em comparação com as técnicas habituais. Ele explicou que a integração de modelos 3D convertidos em desenhos técnicos e cadernos digitais permitiu atender às necessidades existentes, para uma visão mais clara do projeto. O segundo entrevistado comentou que a representação digital dos elementos permitiu que todos os envolvidos assimilassem as informações de maneira mais rápida, gerando uma comunicação mais assertiva entre a equipe de campo e o escritório, eliminando obstáculos de comunicação e reduzindo retrabalhos.

Com base nisso, os entrevistados destacaram o custo-benefício do processo, tanto em relação à funcionalidade operacional quanto à qualidade das informações obtidas. O primeiro entrevistado observou que, embora o investimento inicial em tecnologia possa ser significativo, os ganhos em eficiência e precisão justificam o custo. O segundo entrevistado complementou, afirmando que o procedimento otimizado não só poderia substituir o método tradicional, mas também complementar as atividades de levantamento e documentação, oferecendo uma solução mais robusta e adaptável às necessidades da empresa.

De modo geral, os entrevistados concordaram que a adoção de novas tecnologias e abordagens otimizadas trouxe benefícios significativos para a empresa, tanto em termos de eficiência operacional quanto de qualidade das informações. Eles acreditam que a transição para métodos mais modernos é inevitável e que a empresa está no caminho certo para se manter competitiva no mercado.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento da pesquisa, evidenciou-se as complexidades existentes em etapas iniciais do levantamento tradicional para realização de documentação *as-built*. O processo exige domínio técnico, e envolve a coleta manual e anotações, propensa a imprecisões e erros para extração de dados. Para superar essas adversidades, foram desenvolvidos quatro estudos de caso, dois de caráter exploratório e outros dois estudos de casos empíricos.

O primeiro estudo de caso concentrou na técnica de fotogrametria aérea com uso de VANT para captura de imagens de elementos estruturais. O processamento de imagens utilizou *software* especializado para a geração de uma nuvem de pontos 3D. Com relação aos aspectos positivos encontrados neste estudo, destaca-se a qualidade das imagens, a eficiência na coleta, e a integração simplificada com *software* BIM.

Por outro lado, o estudo identificou desafios, como a necessidade de planejamento para evitar interferências no voo, exigindo condições climáticas adequadas e a complexidade para processar dados fotogramétricos, envolvendo trabalho manual para limpeza de ruídos. Além disso, o procedimento permitiu a detecção de desvios dimensionais entre o projeto existente e a nuvem de pontos, para validar a precisão da técnica otimizada.

O segundo estudo focou no uso do iPhone 12 Pro, com sensor *LiDAR*, para digitalização 3D de ambiente interno. A aquisição de dados demonstrou ser rápida, e adequada. Entretanto, desafios como resíduos de materiais no local e variações na iluminação interna do apartamento, dificultaram etapas de coleta. O tratamento das nuvens de pontos mostrou-se demorado, exigindo mais recursos computacionais. O estudo concluiu que, embora a tecnologia ofereça maior desempenho, sua implementação exige planejamento e atenção aos detalhes operacionais, bem como, esforços manuais para coletar medidas tradicionais.

O terceiro estudo de caso, focou na fotogrametria aérea com o uso de VANT e incluiu métodos tradicionais, como o uso de trena métrica a *laser*. O levantamento

manual obteve as medidas de referência, enquanto o levantamento aéreo capturou 263 imagens da área de interesse, apesar das intensas rajadas de vento. O processamento das imagens ocorreu via plataforma *online* Polycan, através de assinatura educacional, possibilitando a geração de um modelo tridimensional, que foi posteriormente utilizado na reconstrução BIM.

Os principais desafios envolveram fatores externos, como o vento e a presença de equipamentos temporários no canteiro de obras. Por outro lado, algumas dificuldades durante a importação da nuvem de pontos no *software* BIM devido ao grande volume de dados. Para contornar esses obstáculos momentâneos, foi adotada uma segunda opção para importar dados, usando "*blueprints*". O estudo demonstrou a capacidade da fotogrametria aérea, com erro médio equivalente, com medidas extraídas pelo método tradicional, consolidando a técnica aplicada.

O quarto estudo explorou o uso de dispositivo móvel, em ambiente interno. O levantamento tradicional com trena métrica mostrou-se demorado. A integração com o *software* BIM permitiu a reconstrução do modelo 3D, auxiliando no desenvolvimento do projeto. No entanto, a aquisição de dados otimizada foi afetada pela iluminação e falta de localização GPS. A fase de reconstrução BIM foi a mais trabalhosa, com grande interferência manual e necessidade de capacitação do usuário para operações nesse *software*. No entanto, o uso do sensor *LiDAR* mostrou-se adequado, com resultado equivalente às medidas tradicionais.

Em relação aos objetivos específicos, o primeiro objetivo foi "investigar a aplicação de técnicas de digitalização, e contribuir na geração de nuvens de pontos 3D". Este objetivo foi abordado nos estudos de caso, que exploraram diferentes técnicas para aquisição de dados.

No Estudo de Caso 1, com uso de VANT, as imagens capturadas em formato JPG continham informações (metadados), como altura de voo, coordenadas geográficas, entre outras, usadas no processamento e transformação para nuvem de pontos 3D. No Estudo de Caso 2, a aquisição de dados em ambiente interno com o uso de sensor *LiDAR*, e a plataforma Polycan, favoreceu a coletar dados e obtenção de modelos 3D de forma rápida, facilitando analisar os componentes hidráulicos instalados finalizados no apartamento.

O segundo objetivo consistiu em “avaliar a interação e vínculo da nuvem de pontos com a tecnologia BIM”.

No Estudo de Caso 1, a nuvem de pontos criada foi integrada a um projeto BIM existente. Essa interação permitiu a sobreposição das geometrias do modelo projetado e da estrutura construída, identificando diferenças e desvios dimensionais. Já no Estudo de Caso 2, a integração da nuvem de pontos gerada internamente foi vinculada ao modelo BIM, para verificar e documentar as instalações hidráulicas, comparando as dimensões capturadas no local com as medidas do projeto.

O terceiro objetivo específico consistiu em “apresentar melhorias no fluxo de trabalho, para fins de análise e verificação de documentação arquitetônica”. Um dos avanços observados deve-se ao desempenho do fluxo de trabalho em fases de aquisição e processamento.

A aquisição com equipamentos digitais destacou a coleta de considerável volume de dados em poucos minutos. Ademais, o processamento de dados em plataforma *web*, otimizou a criação de nuvens de pontos com mínima interferência do usuário. No entanto, percebe-se ainda certa dependência das técnicas tradicionais, com trena métrica. Essa abordagem continua sendo eficaz, para validar as dimensões obtidas por métodos digitais.

O quarto objetivo específico consistiu em “compreender as etapas do processo de documentação *as-built*, e reconhecer os papéis de agentes envolvidos durante o desenvolvimento do projeto”. No contexto da documentação *as-built*, a comunicação entre os agentes envolvidos foi um fator determinante para a realização das atividades. Em alguns momentos, a falta de entendimento entre o pesquisador e os outros participantes gerou contrariedades, e expectativas divergentes entre as partes.

Nos últimos estudos de caso, o pesquisador atuou de forma mais independente. Essa abordagem demonstrou ser pertinente, onde os encontros ocorreram somente na reunião inicial e no fim para entrega dos cadernos gerados, essa medida reduziu a necessidade de constante comunicação, simplificando o fluxo de trabalho. Portanto, assegurar que todos os envolvidos compreendam claramente os objetivos e as etapas do processo, garantindo que a entrega de modelos finais

atenda às expectativas dos interessados, é fundamental para alcançar os objetivos pretendidos.

À medida que processos de documentação sofrem transformações, a inclusão de novos recursos, sinalizam avanços que modificam abordagens tradicionais, com fluxos de trabalhos mais alinhados as necessidades atuais. Tais mudanças, não apenas tornam as atividades mais produtivas, embora estabeleçam soluções e maior o desempenho para profissionais e organizações, encontram-se cada vez mais compatíveis a realidade tecnológica que vivenciamos.

Esta dissertação evidencia a responsabilidade e o esforço contínuo em busca do conhecimento, com intenção de contribuir no desenvolvimento de um método adequado e inovador. O avanço crescente da tecnologia permitirá que a documentação BIM *as-built* não apenas otimize os processos, mas ser possa ser adotada para a gestão e manutenção, ao longo do ciclo de vida das edificações.

9. REFERÊNCIAS

ABD, M. A.; KHAMEES, S. A. **As built case studies for BIM as conflicts detection and documentation tool**. *Cogent Engineering*, v. 4, n. 1, jan. 2017.

AGÜERA-VEGA, F.; CARVAJAL-RAMÍREZ, F.; MARTÍNEZ-CARRICONDO, P. **Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle**. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, v. 98, p. 221–227, fev. 2017.

ALSHAWABKEH, Y.; BAIK, A.; MIKY, Y. **Integration of laser scanner and photogrammetry for heritage BIM enhancement**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, n. 5, maio. 2021.

LEÃO AMORIM, A. **A documentação arquitetônica como uma atividade multi, inter e transdisciplinar**. *PontodeAcesso, [S. l.]*, v. 11, n. 1, p. 61–84, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaici/article/view/23176>. Acesso em: 16 nov. 2024.

ANIL, E. B.; TANG, P.; AKINCI, B.; HUBER, D. **Deviation analysis method for the assessment of the quality of the as-is Building Information Models generated from point cloud data**. *Automation in Construction*, v. 35, p. 507–516, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.06.003>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BADENKO, V. et al. **Scan-to-BIM methodology adapted for different application**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, v. 42, n. 5/W2, p. 1–7, 2019. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.

BANFI, F. et al. **Digital twin and cloud BIM-XR platform development: From scan-to-BIM-**

to-DT process to a 4D multi-user live app to improve building comfort, efficiency and costs. *Energies*, v. 15, n. 12, jun. 2022.

BANG, S. et al. **Image augmentation to improve construction resource detection using generative adversarial networks, cut-and-paste, and image transformation techniques.** *Automation in Construction*, v. 115, jul. 2020.

BANG, S.; KIM, H.; KIM, H. **UAV-based automatic generation of high-resolution panorama at a construction site with a focus on preprocessing for image stitching.** *Automation in Construction*, v. 84, p. 70–80, dez. 2017.

BASSIER, M. et al. **Drift invariant metric quality control of construction sites using BIM and point cloud data.** *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 9, n. 9, set. 2020.

BASSIER, M.; MATTHEUWSEN, L.; VERGAUWEN, M. **BIM reconstruction: Automated procedural modeling from point cloud data.** *International Archives of the Photogrammetry, Archives*, 2019.

BASSIER, M.; MATTHEUWSEN, L.; VERGAUWEN, M. et al. **Percentage of completion of in-situ cast concrete walls using point cloud data and bim.** *ISPRS Archives*, set. 2019.

BASSIER, M.; VERGAUWEN, M.; VAN GENECHTEN, B. **Automated classification of heritage buildings for AS-BUILT BIM using machine learning techniques.** *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus GmbH, ago. 2017.

BASSIER, M.; VERGAUWEN, M.; VAN GENECHTEN, B. **standalone terrestrial laser scanning for efficiently capturing aec buildings for as-built BIM.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Sciences*. Copernicus GmbH, jun. 2016.

BASSIER, M.; YOUSEFZADEH, M.; VERGAUWEN, M. **Comparison of 2D and 3D wall reconstruction algorithms from point cloud data for as-built BIM.** *Journal of Information Technology in Construction*, v. 25, p. 173–192, 2020.

BECKER, S.; PETER, M.; FRITSCH, D. **Grammar-supported 3D indoor reconstruction from point clouds for “as-Built” BIM.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry*. Copernicus GmbH, mar. 2015.

BELSKY, M.; ANAGNOSTOPOULOS, I.; BRILAKIS, I. **Object boundaries and room detection in as-is BIM models from point cloud data.** 2016.

BEMIS, S. P.; MICKLETHWAITE, S.; TURNER, D.; JAMES, M. R.; AKCIZ, S.; THIELE, S. T.; BANGASH, H. A. **Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology.** *Journal of Structural Geology*, v. 69, n. PA, p. 163–178, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.10.007>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BORRMANN, A. et al. **A concept for automated construction progress monitoring using BIM-based geometric constraints and photogrammetric point clouds.** *Journal of Information Technology in Construction*, v. 20, p. 68–79, 2015.

BOSCHE, F.; HAAS, C. T. **Automated 3D Data Collection (A3DDC) for 3D Building Information Modeling.** In: *ISARC 2008 - Proceedings from the 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 14 out. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/isarc2008/0042>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BOSCHÉ, F.; AHMED, M.; TURKAN, Y.; HAAS. **The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components.** *Automation in Construction*, v. 49, p. 201–213, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>.

BRAUN, Alex; TUTTAS, Sebastian; STILLA, Uwe; BORRMANN, Andre. **Process- and Computer Vision-based Detection of As-Built Components on Construction Sites.** In: *ISARC 2018 - Proceedings from the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0091>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRICEÑO, J. C. et al. **Implementation of facility management for port infrastructure through the use of uavs, photogrammetry and bim.** *Sensors*, v. 21, n. 19, out. 2021.

BUENO, M.; BOSCHÉ, F.; GONZÁLEZ-JORGE, H.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J.; ARIAS, P. **4-Plane congruent sets for automatic registration of as-is 3D point clouds with 3D BIM models.** *Automation in Construction*, v. 89, p. 120–134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.014>.

CHEN, J.; CHO, Y. K. **Point-to-point Comparison Method for Automated Scan-vs-BIM Deviation Detection**, 2018.

CHIABRANDO, F.; SPANO, A.; SAMMARTANO, G.; TEPPATI LOSÈ, L. **UAV oblique photogrammetry and LiDAR data acquisition for 3D documentation of the Hercules Fountain.** *Virtual Archaeology Review*, v. 8, p. 83, 2017. 10.4995/var.2017.5961. Conference of the International Group for Lean Construction IGLC 16, 16-18th July 2008,

DELASSE, C. et al. **Indoor 3D reconstruction of buildings via Azure Kinect RGB-D camera.** *Sensors*, v. 22, n. 23, dez. 2022.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER FILHO, A. V. **Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas.** *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 10, n. 2, p. 113, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>.

DICKINSON, J.; PARDASANI, A.; AHAMED, S.; KRUIHOF, S. **A survey of automation technology for realising as-built models of services.** *VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)*, n. 259, 2009.

DONATO, V. et al. **Challenges and opportunities for the implementation of h-bim with regards to historical infrastructures: A case study of the ponte giorgini in castiglione della pescaia (grosseto - Italy).** *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, maio 2017.

DRECHSLER, Andreas; HEVNER, Alan R. Utilizing, producing, and contributing design knowledge in DSR projects. In: **Designing for a Digital and Globalized World: 13th International Conference, DESRIST 2018, Chennai, India, June 3–6, 2018, Proceedings 13.** Springer International Publishing, 2018. p. 82-97.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design Science and Design Science Research.** In: *Design Science Research*. [S.l.]: Springer, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3_4.

E VAN AKEN, J. **Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules**. 2004.

EASTMAN, Chuck; LISTON, Kathleen; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Modelagem da informação da construção. 6. ed. Bookman, 2014.

EIRIS PEREIRA, R.; ZHOU, S.; GHEISARI, M. **Integrating the use of UAVs and photogrammetry into a construction management course: Lessons learned**. In: *ISARC 2018 - 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and International AEC/FM Hackathon: The Future of Building Things*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/isarc2018/0061>.

ESFAHANI, M. E. et al. **Quantitative investigation on the accuracy and precision of Scan-to-BIM under different modelling scenarios**. *Automation in Construction*, v. 126, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103686.

FALTÝNOVÁ, M.; MATOUŠKOVÁ, E.; ŠEDINA, J.; PAVELKA, K. **Building facade documentation using laser scanning and photogrammetry and data implementation into BIM**. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 41, p. 215–220, 2016. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B3-215-2016>.

FIRDAUS RAZALI, A.; FARID MOHD ARIFF, M.; MAJID, Z. **A hybrid point cloud reality capture from terrestrial laser scanning and UAV-photogrammetry**. *International Archives of the Photogrammetry*, fev. 2022.

FREIMUTH, H.; KÖNIG, M. **A framework for automated acquisition and processing of as-built data with autonomous unmanned aerial vehicles**. *Sensors (Switzerland)*, v. 19, n. 20, out. 2019.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. **Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 29, jan. 2015.

GOURGUECHON, C.; MACHER, H.; LANDES, T. **Automation of as-built BIM creation from point cloud: an overview of research works focused on indoor environment**. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. Anais... maio 2022.

GROETELAARS, N. J.; LEÃO DE AMORIM, A. **Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias**. Disponível em: <www.hypr3d.com>.

GROETELAARS, N.; AMORIM, A. **Técnicas de restituição fotogramétricas digitais aplicadas à Arquitetura: um estudo de caso**. In: COBRAC 2004· Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC: Florianópolis. 2004. p. 1-12.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. **A Fotogrametria Digital na Documentação do Patrimônio Arquitetônico**. *Fórum Patrimônio*, v. 2, p. 5, 2008.

HANSEN, L. H. et al. **Smartphone-based reality capture for subsurface utilities: Experiences from water utility companies in Denmark**, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 46, n. 4/W4-2021, p. 25–31, 2021. DOI:

10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-25-2021.

HEVNER, A.; JAN VOM BROCKE; MAEDCHE, A. **Roles of Digital Innovation in Design Science Research**. *Business and Information Systems Engineering*, v. 61, n. 1, p. 3–8, fev. 2019.

HEVNER, Alan; MARCH, Salvatore; PARK, Jinsoo; RAM, Sudha. **Design Science in Information Systems Research**. *Management Information Systems Quarterly*, v. 28, p. 75-, 2004.

HICHRI, N. et al. **Review of the AS-BUILT BIM approaches**. *The International Archives of the Photogrammetry*, v. XL-5/W1, p. 107–112, fev. 2013.

HONTI, R.; ERDÉLYI, J.; BARICZOVÁ, G.; FUNTÍK, T.; MAYER, P. **Automated verification of building components using BIM models and point clouds**. *Slovak Journal of Civil Engineering*, v. 28, n. 3, p. 13–19, 2020. DOI: 10.2478/sjce-2020-0019.

HUAN, Y.; LIN, Z.; YEOH, J. K. W. **Semantic localization on BIM-generated maps using a 3D LiDAR sensor**. *Automation in Construction*, v. 146, p. 104641, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104641>.

HYUK, T.; CHUNG, W. **3D scanning data coordination and as-built-BIM construction process optimization - Utilization of point cloud data for structural analysis**. 2019. DOI: 10.5659/AIKAR.2019.21.4.111.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas, **Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. 2022.

IÑIGO LEON, J.; PÉREZ, J. J.; SENDEROS, M. **Advanced techniques for fast and accurate heritage digitisation in multiple case studies**. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 15, ago. 2020.

ISO 19157: Geographic information – Data quality. Geneva: International Organization for Standardization, 2013.

JACOB-LOYOLA, N. et al. **Unmanned aerial vehicles (UAVs) for physical progress monitoring of construction**. *Sensors*, v. 21, p. 4227, 2021. DOI: 10.3390/s21124227.

JANSSEN, P.; LOH, P. **Construction Site Monitoring Using UAV Oblique Photogrammetry and BIM Technologies**. In: *Anais...* 2017. p. 655–663.

JULIN, A. et al. **Automated multi-sensor 3D reconstruction for the web**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 5, maio 2019.

JUNG, J.; HONG, S.; JEONG, S.; KIM, S.; CHO, H.; HONG, S.; HEO, J. **Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures**. *Automation in Construction*, v. 42, p. 68–77, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>

JUNG, J.; STACHNISS, C.; JU, S.; HEO, J. **Automated 3D volumetric reconstruction of multiple-room building interiors for as-built BIM**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 38, p. 811–825, 2018. DOI: 10.1016/j.aei.2018.10.007.

KAAMIN, M. et al. **Advanced Techniques in As-Built Survey by using UAV Technology**.

Journal of Physics: Conference Series, v. 1529, n. 3, p. 032110, abr. 2020.

KAISER, T.; CLEMEN, C.; MAAS, H. G. **Automated alignment of local point clouds in digital building models**. *International Archives of the Photogrammetry*, set. 2019.

KIM, H.; KIM, C. **3D as-built modeling from incomplete point clouds using connectivity relations**. *Automation in Construction*, v. 130, out. 2021.

KIM, M. et al. **Automated extraction of geometric primitives with solid lines from unstructured point clouds for creating digital buildings models**. *Automation in Construction*, v. 145, jan. 2023.

KIM, P. et al. **UAV-assisted autonomous mobile robot navigation for as-is 3D data collection and registration in cluttered environments**. *Automation in Construction*, v. 106, out. 2019.

KIM, SEUNGHO; KIM, SANGYONG; EUN LEE, D. **3D Point cloud and BIM-based reconstruction for evaluation of project by as-planned and as-built**. *Remote Sensing*, v. 12, n. 9, maio 2020.

KIM, T.; YOON, Y.; LEE, B.; HAM, N.; KIM, J. J. **Cost–Benefit Analysis of Scan-vs-BIM-Based Quality Management**. *Buildings*, v. 12, n. 12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12122052>.

KLAUER, Thomas; PLASS, Bastian. **Point Cloud Capturing and AI-based Classification for as-built BIM using Augmented Reality**. 2021.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. *Automation in Construction*, v. 21, n. 1, p. 161–171, jan. 2012.

KLINC, R.; JOTANOVIĆ, U.; KREGAR, K. **Point clouds for use in building information models (BIM)**. *Geodetski vestnik*, v. 64, p. 594-613, 2021. 10.15292/geodetski-vestnik.2021.04.594-613.

KOSKELA, L. **Which kind of science is construction management?**. Presented at 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, UK. 2008.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. *Gestão & Produção*, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LAI, Z. et al. **Onboard real-time dense reconstruction in large terrain scene using embedded uav platform**. *Remote Sensing*, v. 13, n. 14, jul. 2021.

LAING, R. et al. **Scan to BIM: the development of a clear workflow for the incorporation of point clouds within a BIM environment**. *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*. WIT Press, set. 2015.

LAING, R.; LEON, M.; MAHDJOUBI, L.; SCOTT, J. **Integrating Rapid 3D Data Collection Techniques to Support BIM Design Decision Making**. *Procedia Environmental Sciences*, v. 22, p. 120–130, 2014.

LI, Y. et al. **Automatic indoor as-built building information models generation by using low-cost RGB-D sensors**. *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 1, jan. 2020.

LIN, Y. C.; LIN, C. P.; HU, H. T.; SU, Y. C. **Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study.** *Advanced Engineering Informatics*, v. 36, p. 178–193, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.04.001>.

LÓPEZ, A. F. J. et al. **Quality control of “as built” BIM datasets using the ISO 19157 framework and a multiple hypothesis testing method based on proportions.** *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 12, dez. 2019.

LUHMANN, T.; CHIZHOVA, M.; GORKOVCHUK, D. **Fusion of UAV and terrestrial photogrammetry with laser scanning for 3D reconstruction of historic churches in Georgia.** *Drones*, v. 4, n. 3, p. 1–18, set. 2020.

LUKKA, KARI. **"The constructive research approach."** *Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B* 1.2003 (2003): 83-101.

MAALEK, R.; LICHTI, D.; RUWANPURA, J. Y. **Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction.** *Remote Sensing*, v. 11, n. 9, maio 2019.

MACHER, H.; LANDES, T.; GRUSSENMEYER, P. **From point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings.** *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 7, n. 10, out. 2017.

MACHER, H.; LANDES, T.; GRUSSENMEYER, P. **Point clouds segmentation as base for as-built BIM creation.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Anais... Copernicus GmbH*, ago. 2015.

MAHMOOD, B.; HAN, S. U.; LEE, D. E. **BIM-based registration and localization of 3D point clouds of indoor scenes using geometric features for augmented reality.** *Remote Sensing*, v. 12, n. 14, jul. 2020.

MÊDA, P.; CALVETTI, D.; SOUSA, H. **Exploring the Potential of iPad-LiDAR Technology for Building Renovation Diagnosis: A Case Study.** *Buildings*, v. 13, n. 2, 2023.

MEIDOW, J.; USLÄNDER, T.; SCHULZ, K. **Obtaining as-built models of manufacturing plants from point clouds.** *At-Automatisierungstechnik*, v. 66, n. 5, p. 397–405, maio 2018.

MEMON, Z. A. et al. **Systematic Approach for Developing As-built Schedule for Construction Project.** *Jurnal Kejuruteraan*, v. 18, p. 135-146, 2006.

MEYER, T.; BRUNN, A.; STILLA, U. **Geometric BIM verification of indoor construction sites by photogrammetric point clouds and evidence theory.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 195, p. 432-445, 2023.

MOHER, D. et al. **Principais itens para relatar revisões sistemáticas e metanálises: a recomendação PRISMA.** *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 24, n. 2, p. 335-342, jun. 2015.

MURTIYOSO, A.; GRUSSENMEYER, P. **Automatic heritage building point cloud segmentation and classification using geometrical rules.** *ISPRS Archives*, ago. 2019.

MURTIYOSO, A.; GRUSSENMEYER, P. **Automatic point cloud noise masking in close range photogrammetry for buildings using AI-based semantic labelling**. ISPRS Archives, fev. 2022.

OCHMANN, S. et al. **Automatic reconstruction of parametric building models from indoor point clouds**. Computers and Graphics (Pergamon), v. 54, p. 94–103, ago. 2016.

OKOLI, C. **Guia para realizar uma revisão sistemática da literatura**. Tradução de David Wesley Amado Duarte; Revisão técnica e introdução de João Mattar. *EaD em Foco*, v. 9, n. 1, e748, 2019. <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>.

PAGE, M. J. et al. **A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas**. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, v. 31, n. 2, e2022107, jul. 2022. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso.

PAN, Y.; ZHANG, L. **Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends**. *Automation in Construction*, v. 122, fev. 2021.

PELLIS, E. et al. **An image-based deep learning workflow for 3D heritage point cloud semantic segmentation**. ISPRS Archives. Anais, fev. 2022.

PƏTRƏUCEAN, V.; ARMENI, I.; NAHANGI, M.; YEUNG, J.; BRILAKIS, I.; HAAS, C. **State of research in automatic as-built modelling**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 29, n. 2, p. 162–171, 2015.

PIERMATTEI, L.; KAREL, W.; VETTORE, A.; PFEIFER, N. **Panorama image sets for terrestrial photogrammetric surveys**. *ISPRS Annals of Photogrammetry*, v. III-5, p. 159-166, 2016. 10.5194/isprsannals-III-5-159-2016.

PLASS, B.; MAINZ, H.; KLAUER, T. **Point Cloud Capturing and AI-based Classification for as-built BIM using Augmented Reality**. [s.d.]

RAUSCH, C.; HAAS, C. **Automated shape and pose updating of building information model elements from 3D point clouds**. *Automation in Construction*, v. 124, abr. 2021.

REBOLJ, D. et al. **Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring**. *Automation in Construction*, v. 84, p. 323–334, dez. 2017.

RIZO-MAESTRE, C.; GONZÁLEZ-AVILÉS, Á.; GALIANO-GARRIGÓS, A.; ANDÚJAR-MONTOYA, M.D.; PUCHOL-GARCÍA, J.A. **UAV + BIM: Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modeling Versus Classical Work Processes**. *Remote Sens.* 2020, 12, 2329. <https://doi.org/10.3390/rs12142329>

ROCHA, G. et al. **A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings**. *Heritage*, v. 3, n. 1, p. 47–65, mar. 2020.

ROCHA, G.; MATEUS, L. **A survey of scan-to-bim practices in the AEC industry—a quantitative analysis**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, n. 8, ago. 2021.

RUSSO, M.; RUSSO, V. **Geometric Analysis of a Space Grid Structure by an Integrated**

3D Survey Approach. *International Archives of the Photogrammetry*. Anais... fev. 2022.

SALVATORE T. MARCH, GERALD F. SMITH, **Design and natural science research on information technology, Decision Support Systems**, Volume 15, Issue 4, 1995, Pages 251-266,

SCHISCHMANOW, A. et al. **Seamless Navigation, 3D Reconstruction, Thermographic and Semantic Mapping for Building Inspection.** *Sensors*, v. 22, n. 13, jul. 2022.

SEPASGOZAR, S. M. E.; LIM, S.; SHIROWZHAN, S.; KIM, Y. M. **Implementation of as-built information modelling using mobile and terrestrial lidar systems.** In: *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014 - Proceedings*, 2014.

TAMIMI, R. **Relative accuracy found within iPhone data collection.** *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 43, B2-2022, p. 303–308, 2022.

TAN, Q.; WEI, S. **Usage of 3D Point Cloud Data in BIM (Building Information Modelling): Current Applications and Challenges.** *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v. 9, n. 11, 2015. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.11.001>.

TAN, Y. et al. **Automatic inspection data collection of building surface based on BIM and UAV.** *Automation in Construction*, v. 131, nov. 2021.

TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B.; LIPMAN, R.; LYTLE, A. **Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques.** *Automation in Construction*, v. 19, n. 7, p. 829–843, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>.

THOMSON, C.; BOEHM, J. **Automatic geometry generation from point clouds for BIM.** *Remote Sensing*, v. 7, n. 9, p. 11753–11775, 2015.

TRAN, H.; KHOSHELHAM, K. **Building change detection through comparison of a LiDAR scan with a building information model.** *Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, jun. 2019.

TURKAN, Y.; BOSCHÉ, F.; HAAS, C.; HAAS, R. **Tracking of secondary and temporary objects in structural concrete work.** *Construction Innovation: Information, Process, Management*, v. 14, 2014. 10.1108/CI-12-2012-0063.

TUTTAS, S. et al. **Acquisition and Consecutive Registration of Photogrammetric Point Clouds for Construction Progress Monitoring Using a 4D BIM.** *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, v. 85, n. 1, p. 3–15, fev. 2017.

TUTTAS, S.; BRAUN, A.; BORRMANN, A.; STILLA, U. **Comparison of photogrammetric point clouds with BIM building elements for construction progress monitoring.** *Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 40, n. 3, p. 341–345, 2014. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-3-341-2014>.

TUTTAS, S.; BRAUN, A.; BORRMANN, A.; STILLA, U. **Validation of BIM components by photogrammetric point clouds for construction site monitoring.** *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 2, n. 3W4, p. 231–237, 2015. DOI: 10.5194/isprsannals-II-3-

W4-231-2015.

USMANI, R. A. et al. **A scan to as-built building information modeling workflow: a case study in Malaysia.** *Journal of Engineering, Design and Technology*, v. 18, n. 4, p. 923–940, jun. 2020.

USTINOVICIUS, L.; PUZINAS, A. **Challenges of BIM technology application in project planning.** *Engineering Management in Production and Services*, v. 10, n. 2, p. 15–28, 2018. <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0008>.

VINCKE, S. et al. **Immersive visualisation of construction site point cloud data, meshes and BIM models in a VR environment using a gaming engine.** *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, set. 2019.

VOORDIJK, H. **Construction management and economics: The epistemology of a multidisciplinary design science.** *Construction Management and Economics*, v. 27, n. 8, p. 713–720, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01446190903117777>.

WANG, Q.; GUO, J.; KIM, M. K. **An application oriented scan-to-bim framework.** *Remote Sensing*, v. 11, n. 3, fev. 2019.

WANG, X.; LYU, H.; MAO, T.; HE, W.; CHEN, Q. **Point Cloud Segmentation from iPhone-Based LiDAR Sensors Using the Tensor Feature.** *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 12, n. 4, 2022.

XIE, L. et al. **A layer-wise strategy for indoor as-built modeling using point clouds.** *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 9, n. 14, jul. 2019.

XIONG, B.; OUDE ELBERINK, S.; VOSSELMAN, G. **Building modeling from noisy photogrammetric point clouds.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry*, v. II–3, p. 197–204, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-ii-3-197-2014>.

YIN, H.; LIN, Z.; YEOH, K. W. J. **Semantic localization on BIM-generated maps using a 3D LiDAR sensor.** *Automation in Construction*, v. 146, fev. 2023.

YOON, S.; JUNG, J.; HEO, J. **Practical implementation of semi-automated AS-BUILT BIM creation for complex indoor environments.** *ISPRS Archives*, maio 2015.

ZHANG, Y, RUIDONG CHANG, WEIAN MAO, JIAN ZUO, LINGQIAO LIU, YILONG HAN, **Challenges of Automating Interior Construction Progress Monitoring**, *Journal of Construction Engineering and Management*, 10.1061/JCEMD4.COENG-14637, 150, 9, (2024).