

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Vitor Bez Gouveia

**Comparação entre os métodos *as built* tradicional e com modelagem BIM sobre nuvem  
de pontos**

Florianópolis

2020

Vitor Bez Gouveia

**Comparação entre os métodos *as built* tradicional e com modelagem BIM sobre nuvem  
de pontos**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade  
Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof. Leticia Mattana

Coorientador: Eng. Rafael Fernandes Teixeira da Silva

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gouveia, Vitor Bez

Comparação entre os métodos as built tradicional e com modelagem BIM sobre nuvem de pontos / Vitor Bez Gouveia ; orientadora, Leticia Mattana, coorientador, Rafael Fernandes Teixeira da Silva, 2020.

96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. As Built. 3. Laser Scanner. 4. BIM. I. Mattana, Leticia. II. Silva, Rafael Fernandes Teixeira da. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Vitor Bez Gouveia

**Comparação entre os métodos *as built* tradicional e com modelagem BIM sobre nuvem de pontos**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Civil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil

Florianópolis, 15 de setembro de 2020.

Profa. Luciana Rohde, Dra.  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Leticia Mattana  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Rafael Fernandes Teixeira da Silva  
Coorientador  
IMA-SC

Profa. Cristine do N. Mutti, PhD.  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Matheus Körbes Bracht  
Avaliador  
Portal Engenharia

Este trabalho é dedicado aos meus amigos, namorada e à minha querida família.



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que tiveram algum papel positivo ao longo de toda minha graduação, com certeza foi fundamental para chegar até este momento.

Aos meus pais Sandra e Egilson que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e fizeram eu alcançar o tudo o que almejei.

À minha irmã Eduarda por estar presente durante toda minha jornada, desde pequeno, sempre me dando forças para atingir meus objetivos.

À minha vó Bernadette, que não apenas me apoiou ao longo da graduação, mas sempre esteve ao meu lado, em todas as minhas escolhas, sempre com muito carinho e motivação.

À minha vó Maria por fazer parte dos momentos mais marcantes, mesmo quando não podia comparecer pessoalmente,

Ao meu vô Ludiz que infelizmente não irá conseguir ver minha formatura e ver eu me tornar um engenheiro civil, mas que, com certeza, fez parte essencial nesta trajetória e foi, e sempre será, um grande exemplo para mim.

À minha namorada Victoria pela parceria e carinho e que há mais de 3 anos me apoia e me incentiva a ir atrás de meus sonhos, bem como a evoluir cada vez mais pessoalmente e profissionalmente.

À professora Leticia por ter sido uma ótima orientadora, além das minhas expectativas, e que, durante todo o processo, esteve sempre disponível para ajudar e guiar.

Ao Rafael Fernandes, responsável pela minha motivação inicial em fazer algo relacionado à BIM e autor da ideia por trás desse TCC, bem como facilitador da maioria das parcerias conseguidas para realização deste trabalho.

Aos meus grandes amigos da UFSC que estiveram presentes nos melhores momentos da graduação e foram papel fundamental para tornar essa jornada mais leve e divertida.

À banca examinadora, professora Cristine Mutti e Matheus Bracht, por toparem participar da avaliação deste TCC e compartilharem seus conhecimentos e experiência.

Aos professores Eduardo Costa e Fernando Cabral, peças importantes no aumento da minha paixão por inovação.

Ao Adriano Scheuer, profissional da FARO que proporcionou o levantamento com o equipamento *laser scanner*, essencial a este trabalho.

À Engenheira Késia por ter ajudado na escolha do objeto de estudo, além de ter criado o projeto social “De Olho na Obra” junto ao observatório social, no qual pude contribuir através de algumas etapas trabalho.

Ao pessoal da Creche CEI Roda Viva, pela disponibilidade e gentileza.

À bolsista de arquitetura, Danielli Spricigo, por ter feito a modelagem BIM sobre a nuvem de pontos, e ao Proex, programa de bolsas da UFSC que viabilizou o trabalho dela.

## RESUMO

A engenharia civil é composta de algumas grandes áreas, com diversas ramificações, onde o profissional graduado pode atuar. Uma delas é retratada neste trabalho de conclusão de curso, a construção civil, através do *as built*. Ele exerce um papel essencial na construção civil, pois por meio dele é possível garantir o registro das informações da obra para as futuras alterações que uma edificação pode estar sujeita ao longo de sua vida útil. Com isso, permitindo reformas e outras modificações, além de conferir a qualidade da obra concluída. A tecnologia evoluiu muito ao longo dos anos e, com ela, novas técnicas e métodos de levantamento e produção de projetos *as built* foram desenvolvidas, com o apoio de inovações tecnológicas, como exemplo, o método de modelagem BIM sobre nuvem de pontos, levantada com o equipamento *laser scanner*. Este trabalho tem como objetivo comparar os métodos *as built* tradicional, com trena laser e trena convencional, e *as built* “inovador” com modelagem BIM sobre nuvem de pontos, com dados oriundos de um *laser scanner*. Para isso, adotou-se um caso para estudo em um centro de educação infantil da cidade de Palhoça/SC, no qual os procedimentos da pesquisa foram realizados durante o segundo semestre de 2019. Foram realizadas medições *in loco*, usando o método tradicional e o método inovador, a fim de comparar, nos âmbitos da produtividade, da precisão e dos custos, as etapas de levantamento de dados e modelagem da informação. Os resultados demonstram que, ao comparar ambas as etapas, para a etapa de levantamento de dados, o *laser scanner* provou-se levar 79% menos tempo e com uma precisão maior quando comparada com o método tradicional, aliado a um acréscimo no custo de 57%. A etapa de modelagem BIM, necessitou 93% mais tempo sobre a nuvem de pontos, teve uma melhor precisão das informações, entretanto obteve um custo 78% maior em relação ao método tradicional. Ao final, foi possível concluir que o método inovador aplicado a este caso de estudo, apesar de mais custoso, pode ajudar os profissionais da área de construção civil a ganhar uma melhora no tempo de levantamento, com uma maior precisão dos dados e da modelagem em seus *as built*.

**Palavras-chave:** As built. Laser Scanner. BIM.

## ABSTRACT

Civil engineering is composed of some large areas, with several branches, in which the engineer can act. One of them is portrayed in this work, the civil construction. The as built design produced plays an essential role in civil construction, as it is possible to check the final quality of the completed work, as well as to guarantee the record of the changes that a building undergoes during its lifetime, allowing for refurbishments and other modifications. Nevertheless, technology has evolved a lot over the years and, with it, new techniques and methods for as built have been developed. As examples, we can mention the BIM modeling method on point cloud, gathered using the laser scanner equipment. This work has the objective to compare the as built traditional methods, with laser metric tape and conventional metric tape, and the “innovative” built methods with BIM modeling over point cloud, with data resulting from a laser scanner equipment. For this, a study case was defined, a child education center in the city of Palhoça/SC. The research procedures were carried out during the second semester of 2019. Measurements were made in loco, using the traditional method and the innovative method, considering for both, the aspects of productivity, precision and costs for the stages of data collection and information modeling. The results show that, for the data collection stage, the laser scanner proved to be 79% more productive and with greater precision when compared to the traditional method, combined with an increase in the cost of 57%. The BIM modeling step, required 93% more time with the point cloud, had better accuracy and obtained a cost 58% lower than the traditional method. In the end, it was possible to conclude that the innovative method applied to this study case, although more expensive during the field work stage, can help professionals in the civil construction area to gain an increase their productivity in the field and their data accuracy and modeling in the as built designs.

**Keywords:** As built. Laser Scanner. BIM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>As built</i> tradicional .....	20
Figura 2 - Equipamento <i>Laser Scanner</i> .....	21
Figura 3 - FARO <i>Laser Scanner</i> Focus S 350.....	23
Figura 4 - Drone aliado à engenharia .....	24
Figura 5 - Tela que captura a nuvem no equipamento FARO <i>Laser Scanner</i> Focus S 350.....	26
Figura 6 - Nuvem de Pontos da Creche CEI Roda Viva no AUTODESK RECAP.....	26
Figura 7 - Aproximação da Nuvem de Pontos da Creche CEI Roda Viva.....	27
Figura 8 – Aplicações de levantamentos com <i>laser scanners</i> na engenharia.....	28
Figura 9 – Representação visual do conceito do BIM.....	29
Figura 11 - Modelo de criação BIM em edificações novas ou já existentes .....	31
Figura 12 - Visão geral da técnica de captura e levantamento de dados de edificações existentes .....	31
.....	31
Figura 13 - Experiência profissional dos pesquisados .....	33
Figura 14 – Experiência de uso do BIM dos pesquisados.....	34
Figura 15 – Localização da CEI Roda Viva .....	35
Figura 16 – Fachada da CEI Roda Viva .....	36
Figura 17 - Imagem da CEI Roda Viva.....	36
Figura 18 - Requadro fora do esquadro na esquadria da sala GT2.....	37
Figura 19 - Método de Trabalho.....	39
Figura 20 – Trena laser Stanley TLM 330 .....	41
Figura 21 – Trena convencional .....	41
Figura 22 - Planta construída pelo <i>laser scanner</i> .....	44
Figura 23 - Nuvem de pontos simplificada da cena “CEI_RODA_VIVA_Scan_011” .....	45
Figura 24 - Imagem panorâmica da cena “CEI_RODA_VIVA_Scan_011” .....	45
Figura 25 - Primeira parte da modelagem BIM da nuvem de pontos.....	49
Figura 26 - Modelo BIM da primeira parte da nuvem de pontos .....	50
Figura 27 - Ângulo alternativo do modelo parcialmente modelado.....	50
Figura 28 - Cozinha no projeto original .....	56
Figura 29 - Cozinha no projeto <i>as built</i> .....	56
Figura 30 – Imagem do dia de levantamento com <i>laser scanner</i> .....	58
Figura 31 - Imagem do dia de levantamento com <i>laser scanner</i> .....	58

Figura 32 - Imagem do dia de levantamento com <i>laser scanner</i> .....	59
Figura 33 - Imagem do dia de levantamento com <i>laser scanner</i> .....	59
Figura 34 - Nuvem de pontos da CEI Roda Viva na plataforma Autodesk RECAP .....	60
Figura 35 – Modelo sobre o projeto bidimensional.....	61
Figura 36 - Modelo BIM sobre a nuvem de pontos.....	61
Figura 37 – Medidas da sala de aula GT3 no “.dwg” e no FARO Box.....	67
Figura 38 – Medidas sala soneca no “.dwg” e no FARO Box .....	67
Figura 39 – Medidas do banheiro BWC3 no “.dwg” e no FARO Box .....	68
Figura 40 – Medidas da cozinha no “.dwg” e no FARO Box .....	68
Figura 41 – Medidas sala de aula GT3 em ambas as modelagens .....	72
Figura 42 – Medidas Diretoria em ambas as modelagens .....	72
Figura 43 – Medidas sala soneca em ambas as modelagens .....	73
Figura 44 – Medidas sala de aula GT2 em ambas as modelagens .....	73
Figura 45 - Comparação direta da precisão angular de ambas as modelagens.....	74

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Síntese das Principais Etapas do Trabalho .....	39
Quadro 2 – Áreas e suas datas do levantamento através do método tradicional .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios do uso do BIM em projetos .....	30
Tabela 2 – Tempos do levantamento do <i>as built</i> tradicional em campo .....	62
Tabela 3 – Tempo de desenho e modelagem tradicional.....	62
Tabela 4 - Tempos do levantamento com equipamento <i>laser scanner</i> em campo.....	63
Tabela 5 – Tempo de modelagem BIM sobre nuvem de pontos.....	64
Tabela 6 - Comparativo entre o tempo de levantamento entre ambos os métodos .....	65
Tabela 7 – Medidas lineares do levantamento em campo .....	66
Tabela 8 - Custos do levantamento de campo .....	69
Tabela 9 - Comparativo de custos de 1 dia de trabalho.....	69
Tabela 10 – Medida das áreas das modelagens .....	71
Tabela 11 – Custos de modelagem de ambos os métodos.....	74
Tabela 12 - Síntese dos resultados.....	76

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CEI Centro de Educação Infantil  
BIM Building Information Modeling  
GT Grupo de Trabalho  
LaBIM Laboratório BIM do Estado de Santa Catarina  
GEBIM Grupo de Extensão em BIM  
AEC Architecture, Engineering and Construction  
RFID Radio Frequency Identification  
TCC Trabalho de Conclusão de Curso  
CAD Computer Aided Design  
OSB Observatório Social do Brasil  
GH Giga Hert  
GB Giga Byte  
RAM Random Access Memory  
GPU Graphics Processing Unit  
HD Hard Drive  
BWC Bathroom Water Closet (Banheiro)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	15
1.2	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.4	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	<i>AS BUILT</i> NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	19
2.2	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	21
<b>2.2.1</b>	<b><i>Laser Scanner</i> .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Drones .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Nuvem de Pontos.....</b>	<b>25</b>
2.3	<i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> - BIM .....	28
<b>2.3.1</b>	<b>Relação entre BIM, Inovações Tecnológicas e <i>As Built</i>.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO E PROCEDIMENTOS.....</b>	<b>35</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	35
3.2	PROCEDIMENTOS.....	38
<b>3.2.1</b>	<b>Levantamento de informações de forma tradicional.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Levantamento de informações com <i>laser scanner</i>.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Modelagem do <i>as built</i> sobre o projeto bidimensional .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Modelagem BIM sobre nuvem de pontos .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Tempo do levantamento e da modelagem do <i>as built</i> tradicional .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Tempo do levantamento e da modelagem sobre a nuvem de pontos .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Estimativa dos custos envolvidos em cada etapa .....</b>	<b>52</b>

<b>3.2.8</b>	<b>Comparação dos resultados: tempo, precisão e custos.....</b>	<b>53</b>
3.2.8.1	<i>Levantamento em campo .....</i>	53
3.2.8.2	<i>Modelagem .....</i>	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Levantamento de informações de forma tradicional.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Levantamento de informações com <i>laser scanner</i>.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Modelagem do <i>as built</i> sobre o projeto bidimensional .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Modelagem BIM sobre nuvem de pontos .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Tempo do levantamento e da modelagem do <i>as built</i> tradicional .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Tempo do levantamento e da modelagem sobre a nuvem de pontos .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Estimativa dos custos envolvidos em cada levantamento .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Comparação e discussão dos resultados .....</b>	<b>64</b>
4.1.8.1	<i>Levantamento em campo .....</i>	64
4.1.8.1.1	Tempo .....	64
4.1.8.1.2	Precisão.....	66
4.1.8.1.3	Simulações de Custos para o Caso em Estudo .....	69
4.1.8.2	<i>Modelagem .....</i>	70
4.1.8.2.1	Tempo .....	70
4.1.8.2.2	Precisão.....	70
4.1.8.2.3	Simulações de Custos para o Caso em Estudo .....	74
4.1.8.3	<i>Tabela Síntese dos resultados.....</i>	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE A – Modelo 3D método tradicional .....</b>	<b>86</b>
	<b>APÊNDICE B – Projeto <i>As Built</i> Bidimensional .....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE C – Croquis.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO A – Faro Box .....</b>	<b>91</b>

<b>ANEXO B – Projeto Original em CAD .....</b>	<b>92</b>
--	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A construção remete aos primórdios da humanidade, quando os primeiros habitantes na terra faziam suas habitações com técnicas rústicas. À medida que a humanidade evoluiu, as técnicas construtivas também foram se aprimorando, até chegarmos na idade contemporânea.

Hoje, a construção civil é um dos principais setores comerciais do Brasil, movimentando bilhões de reais todos os anos, gera emprego e é responsável pelo desenvolvimento econômico do país e crescimento de sua infraestrutura urbana.

A construção civil e o desenvolvimento econômico estão intrinsecamente ligados, a indústria da construção promove incrementos capazes de elevar o crescimento econômico. Isso ocorre principalmente pela proporção do valor adicionado total das atividades, como também pelo efeito multiplicador de renda e sua interdependência estrutural (TEIXEIRA APUD OLIVEIRA et al., 2012, p. 2).

Entretanto, após se consolidar, o setor da construção civil não se modernizou na mesma proporção que outros setores e, ainda hoje, conta com procedimentos e processos de produção artesanais. Apesar de caracterizar um importante setor para a economia do país, a construção civil possui problemas relacionados aos modos de produção e à cultura do trabalho do setor.

Dentre esses problemas, destacam-se a falta de comunicação entre projetistas das diferentes disciplinas, os erros repetitivos, a falta de automatização e otimização, além de diferenças gritantes entre o projeto e o que foi executado.

Atualmente, apesar de a trena laser ter ajudado na produtividade dessa área de aplicação, o método ainda é muito artesanal para os padrões de tecnologia atual e ainda se faz uso da trena convencional, do papel e da caneta para viabilizar levantamentos de informações de edifícios já executados.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Algumas inovações tecnológicas como o BIM (*Building Information Modeling*), o uso de drones e de nuvem de pontos, e outras tecnologias digitais, podem entrar nos processos de produção do setor para promover melhorias e diminuir essa comunicação falha entre projetos e canteiro de obras, visando otimizar e ajudar a analisar melhor as diferenças do construído para o projetado (TONDELO; BARTH, 2019).

Métodos como o da nuvem de pontos, feita através de um equipamento chamado *laser scanner*, ou escâner a laser, vieram para mudar o mercado em muitos aspectos. Um deles é o *as built*, ou Como Construído, procedimento que denomina o levantamento que verifica uma obra já construída. Esse artifício pode ter diversas utilidades, seja para verificar as incongruências com o projeto básico, ou para conferir a situação atual de uma edificação antes de uma reforma, ou, ainda, verificar se a edificação está adequada no caso de alguma nova norma entrar em vigor (DODL, 2018).

O BIM, também conhecido como *Building Information Modeling*, ou Modelagem da Informação da Construção, se caracteriza, segundo Eastman et al. (2008), como:

“... uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, que gera uma base de dados que contém tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, cálculo energético e previsão de insumos e ações em todas as fases da construção (EASTMAN et al., 2008).

Nesse sentido, é uma metodologia favorável à comunicação entre os projetistas de todas as disciplinas envolvidas na concepção da obra para a criação de um modelo mais conciso, interativo e preciso.

A combinação entre as inovações do BIM e da nuvem de pontos traz uma oportunidade interessante para o *as built*, pois pode encaminhar boa parte do setor da construção para a inovação. Portanto, o assunto abordado neste Trabalho de Conclusão de Curso será uma comparação entre os métodos *as built* tradicional, com trena a laser e trena convencional; e inovador, com laser scanner, nuvem de pontos e BIM.

## 1.2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Essa comparação, pretendida neste trabalho, será relevante para auxiliar no processo de mudança do paradigma da Engenharia Civil no que diz respeito ao *as built*. Devido ao método artesanal ainda utilizado para medições na construção civil, é necessário muito tempo para se levantar informações de uma edificação. Acrescenta-se, ainda, a possibilidade do erro humano no processo de medição convencional. À medida que a equipe, normalmente composta de duas pessoas, vai pegando todas as medidas, referências e afins, ela fica mais suscetível ao erro. Além disso, outra desvantagem é a precisão, é complicado representar cada ponto de luz, cada tomada, cada lavatório, cada item do levantamento, com a mesma precisão almejada com

o suporte da tecnologia. Muitas vezes o erro chega a alguns centímetros nas medições convencionais, mesmo para um profissional experiente.

O *laser scanner*, por outro lado, elimina a maioria dos empecilhos, problemas e possibilidades de erros trazidos pelo método tradicional. Através de seu laser que bate e volta em cada superfície, é gerada uma nuvem de pontos com uma resolução que varia de equipamento para equipamento, mas que no geral é bem alta e mais que suficiente para fins de engenharia. Com essa tecnologia, é possível gerar *As built* com precisão milimétrica, alta produtividade e grande riqueza em detalhes. Isso possibilita a criação de um modelo 3D em BIM fiel à realidade. Esse modelo, criado com uma nuvem de pontos advinda de um *laser scanner*, é comumente chamado de Bentley de *Digital Twin*, ou Gêmeo Digital.

### 1.3 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é comparar os métodos *as built* tradicional e *as built* com modelagem BIM sobre nuvem de pontos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar medições in loco usando trena laser e trena convencional;
- Realizar medições in loco usando equipamento *laser scanner*;
- Adaptar o projeto bidimensional à edificação construída segundo o levantamento tradicional;
- Realizar a modelagem do projeto *as built* tradicional;
- Realizar a modelagem BIM do *as built* com nuvem de pontos;
- Analisar o tempo de ambos os levantamentos e na modelagem BIM;
- Analisar a precisão dos diferentes levantamentos e na modelagem BIM;
- Analisar custos envolvidos em cada levantamento e na modelagem BIM;

- Elaborar uma planilha para comparação dos resultados (tempo, custos e precisão dos dados).

#### 1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os resultados das pesquisas foram divididos em duas etapas (levantamento e modelagem), as quais foram separadas nos dois métodos (tradicional e BIM sobre nuvem de pontos).

Na primeira etapa, de levantamento, foram obtidas as medidas do projeto arquitetônico e dos projetos complementares, tanto no método tradicional, quanto no inovador. Por esse motivo, no método tradicional, foram necessários dois dias de trabalho para levantar-se todo o escopo previsto. No entanto, observa-se que a qualidade das informações dos projetos complementares obtidas no levantamento com trena laser e trena tradicional não foram satisfatórias para representar a precisão esperada na modelagem.

Portanto, na etapa de modelagem, devido a limitações de tempo, hardware e qualidade das informações, utilizou-se apenas o projeto arquitetônico para se fazer a comparação. Ademais, os custos e o tempo obtidos nessa etapa foram simulados para poderem ser comparados. A comparação de tempo de modelagem foi realizada de forma simplificada, sem medição da influência do nível de detalhamento dos modelos, da diferença de experiência dos modeladores envolvidos e de diferentes configurações nos computadores usados no experimento. Por isso, o resultado desta etapa da pesquisa refere-se a este caso escolhido para estudo.

Além disso, a modelagem sobre a nuvem de pontos, utilizada neste trabalho, contemplou apenas 2/3 da totalidade do objeto de estudo, pois essa atividade faz parte de um projeto de extensão da UFSC, que ainda se encontra em andamento.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em 5 capítulos, em que o 1 e 5 consistem na introdução e conclusão respectivamente. No capítulo 2 é contemplada a revisão bibliográfica do tema deste TCC, bem como os principais assuntos adjacentes. O capítulo 3 demonstra a metodologia utilizada para buscar os resultados, que são apresentados no capítulo 4.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica abrange temas que são diretamente e indiretamente necessários para o embasamento deste trabalho de conclusão de curso. A fim de uma melhor compreensão e organização, seguir-se-á uma ordem preestabelecida, sendo inicialmente discorrido sobre o tema *as built*. Em seguida, há a tratativa de inovações tecnológicas no geral, sendo caracterizadas as principais inovações tecnológicas da construção civil relacionadas com o tema desta pesquisa, em especial, o *laser scanner* e a nuvem de pontos. A última parte da revisão compreende o tema BIM, que devido a sua importância e papel já bastante consolidado, será tratado separadamente em outra seção.

### 2.1 AS *BUILT* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme descrito pela NBR 14645-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), *as built*, ou “como construído”, é um levantamento topográfico de obras, que faz parte de um procedimento fiscal de execução de obras na construção civil e industrial, que amarrado ao sistema tridimensional de referência espacial adotado no projeto da obra e utilizando instrumentalmente todos os processos indicados pelo procedimento fiscal, realiza a medição espacial de determinada construção ou empreendimento.

Este levantamento *as built* determina uma precisão adequada no seu desenvolvimento, como por exemplo o posicionamento espacial dos detalhes específicos da configuração da construção, ou de elementos desta obra, considerada em relação a pontos notáveis existentes no terreno e/ou às divisas de imóveis que lhe são contíguos. Esses pontos notáveis são escolhidos como amarração da construção visando sua medição a partir de uma referência, quando da elaboração do projeto *as built* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

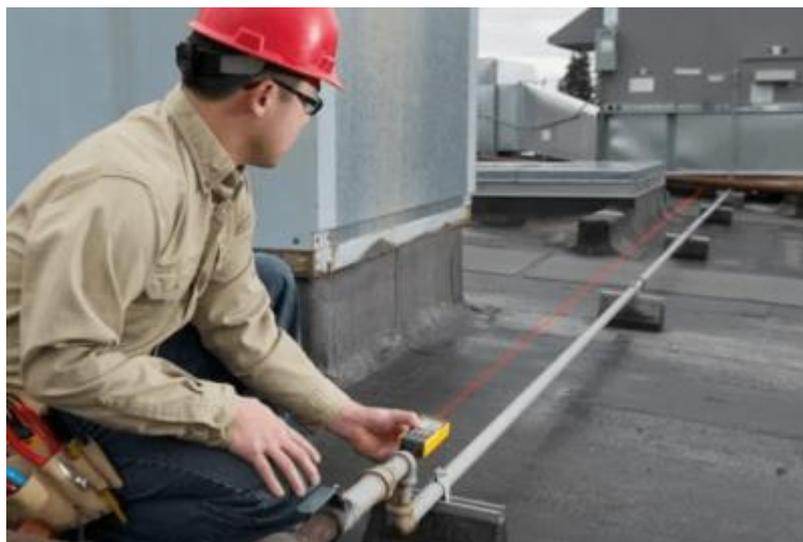
Essa Norma que trata do *as built* descreve os procedimentos para a elaboração do “como construído” (*as built*) para edificações, e divide-se em três partes, que são: (1) Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25.000m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificação – Procedimento; (2) Parte 2: Levantamento planialtimétrico para registro público, para retificação de imóvel urbano – Procedimento; e (3) Locação topográfica e controle dimensional da obra – Procedimento. A primeira parte foi

publicada em 2001, a segunda parte em 2005 e a terceira parte foi publicada em 2005 sendo corrigida em 2011.

A parte 1 da Norma “fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25.000 m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificação” e tem como objetivo obter informações sobre as características do terreno. A parte 2 da NBR 14645 refere-se aos requisitos necessários da edificação, conseguidos através do levantamento topográfico, para fins legais de registro de imóveis junto ao cartório. Por fim, a última parte da Norma “estabelece os requisitos exigíveis para a locação e o controle dimensional da obra, com as anotações de todas as alterações ocorridas no transcorrer da obra.” Além disso, ela “indica os procedimentos para se chegar ao projeto executado, a partir de um projeto executivo.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

O *as built* é essencial para registrar e manter as informações da obra construída para seus proprietários ou profissionais. As utilidades de um projeto *as built* são as mais variadas, desde manutenção de pontes e outras obras de infraestrutura, que utilizam os dados levantados para planejar uma possível reforma ou manutenção (ABUDAYYEH; AL-BATTAINAH, 2013), até o uso aplicado em edificações, na maioria das vezes usado para indicar posicionamento de instalações nas vedações (Figura 1).

Figura 1 – *As built* tradicional



Fonte: Intrusul (2019)

Incentiva-se, hoje em dia, que os projetos não sejam mais elaborados de forma manual, mas sim digitalmente, porém os projetos de *as built* que são elaborados usando essas tecnologias digitais como o BIM, ainda são levantados de formas manuais (HAJIAN; BRANDOW, 2012). Percebe-se, que com o advento de inovações tecnológicas na construção civil, como os drones e lasers scanners (Figura 2), que vêm sendo usados para levantamento *as built* e se relacionam com as ferramentas BIM, será necessária uma revisão das Normas Técnicas para estes trabalhos de *as built* na construção civil.

Figura 2 - Equipamento *Laser Scanner*



Fonte: Acervo do autor (2019)

## 2.2 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A fim de expor as tecnologias usadas neste trabalho, é necessário antes definir inovação e tecnologia. Segundo Massa e Testa (2008) e Costa (2016), inovação é muitas vezes confundida com ideias ou inventos, no entanto, não é nenhuma das anteriores, mas sim uma melhoria que traz um retorno financeiro, ou seja, algo que se consolide no mercado. Ademais, inovação é um dos instrumentos fundamentais de estratégias de empresas para entrar no

mercado e firmas que investem em sua capacidade de inovar tem aumentos significativos em performance econômica (GUNDAY et al., 2011).

Entretanto muitas vezes há uma hesitação das empresas frente à inovação, nesse sentido, Rosenbusch, Brinckmann e Bausch (2011) mostram empiricamente que uma orientação em inovação e atividades inovadoras geram valores para pequenas e médias empresas. Embora sejam necessários um maior custo inicial e um constante investimento, os benefícios da inovação costumam superar esses possíveis empecilhos e trazer prosperidade à empresa.

Percebe-se, portanto, a importância da inovação no mercado e, por conseguinte, o valor da inovação na construção civil. Podendo esta, trazer bons frutos para o setor, visto que ele é dito como conservador, tradicionalista e pouco acostumado com inovações (HALPIN; WOODHEAD, 2004).

Apesar de muitas empresas se conformarem com esses baixos níveis de desempenho tecnológico na construção civil, há um movimento de pesquisadores e empresas no sentido da inovação com uso de BIM, realidade aumentada, treinamento de operários de obras com novas tecnologias, entre outros (GRANJA, 2015).

Além do BIM citado por Granja (2015), este trabalho contemplou o uso de outras inovações tecnológicas no setor em questão: o *laser scanner* e a nuvem de pontos. Por isso, nas próximas seções serão esclarecidos conceitos destas tecnologias digitais utilizadas no trabalho e de outras possíveis alternativas para uso similar.

### **2.2.1 Laser Scanner**

*Laser Scanner*, ou escaneamento a laser, refere-se a uma inovação muito útil ao setor da construção civil e arquitetura, que faz o levantamento de dados espaciais em um tempo relativamente curto e com uma alta precisão, sendo essa sua grande vantagem (RANDALL, 2011). O equipamento, chamado de *laser scanner* e exemplificado na Figura 3, utiliza um raio laser que bate no objeto ou na cena a ser capturada e reflete de volta para o scanner, permitindo que ele calcule a distância com base no tempo e velocidade do feixe. Com isso, e devido ao aparelho fazer essa medição em diversas direções, é possível mapear cada ponto do objeto levantado, criando a chamada nuvem de pontos (FARO BROCHURE, 2017).

Figura 3 - FARO *Laser Scanner* Focus S 350

Fonte: Faro Technologies Inc. (2016)

Os *Laser Scanners* são chamados também de sistemas de imagem tridimensional (3D), e tem a capacidade de realizar rapidamente milhares de medições por segundo das posições de coordenadas 3D de objetos em uma região de interesse e geram uma representação digital do que foi levantado (U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION, 2009).

As aplicações desta tecnologia são muito pertinentes para as mais diversas áreas, inclusive dentro da própria Engenharia Civil, sendo possível levantar *as built*, analisar patologias e incongruências construtivas, além de ser usada em restaurações de prédios históricos. No geral, o *Laser Scanning* (escaneamento a laser), pode fornecer uma visão ampla quantitativa e qualitativa de um trabalho (ALIZADEHSALEHI; KOSEOGLU; CELIKAG, 2015).

A tecnologia do *Laser Scanner* captura informações de *as built* de um modo muito mais preciso e rápido se comparado aos levantamentos topográficos tradicionais. Os produtos gerados pelos lasers scanners são compatíveis com diversas ferramentas de autoria BIM, e, permitem até criar um modelo *as built* em BIM preciso. Entretanto, destaca-se que o procedimento para modelagem BIM sobre a nuvem de pontos gerada usando o *laser scanner* é bastante suscetível a erros, necessitando de um profissional treinado para tal. Uma automação deste processo de levantamento das informações de obras poderia diminuir mais ainda os erros e aumentar a precisão e qualidade do produto gerado (BRILAKIS et al., 2010).

Segundo Tzedaki e Kamara (2013), normalmente as edificações novas são mais propensas a ter um modelo BIM, enquanto edificações já existentes não, pois foram construídas em um momento pré BIM onde o *as built* também era comumente feito de forma manual, com os levantamentos topográficos convencionais. Nesse sentido, o *Laser Scanner* oferece uma oportunidade para a criação desse modelo *as built* BIM de edificações já existentes e de uma forma rápida e precisa, quando comparada com métodos tradicionais de levantamento.

### 2.2.2 Drones

Quando o assunto é escaneamento a laser, hoje é comum ter outras tecnologias envolvidas, como os drones (Figura 4), também conhecidos como *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) (TONDELO; BARTH, 2019).

Figura 4 - Drone aliado à engenharia



Fonte: Itatiaia (2019)

É importante salientar que o uso desses equipamentos ainda não é normalizado, no entanto, há alguns estudos que indicam uma padronização de seu uso (TONDELO; BARTH, 2019; ESCHMANN et al., 2012).

O escaneamento de edificações usando drones ocorre pelo levantamento de imagens aéreas, com recursos de fotogrametria, como a sobreposição de 70% de uma imagem para a outra. Após a coleta de imagens, deve-se utilizar um software para captura da realidade, como o AUTODESK RECAP ou o BENTLEY CONTEXTCAPTURE, que permitem a formação da nuvem de pontos a partir das imagens levantadas pelos drones (BEDIN, 2019).

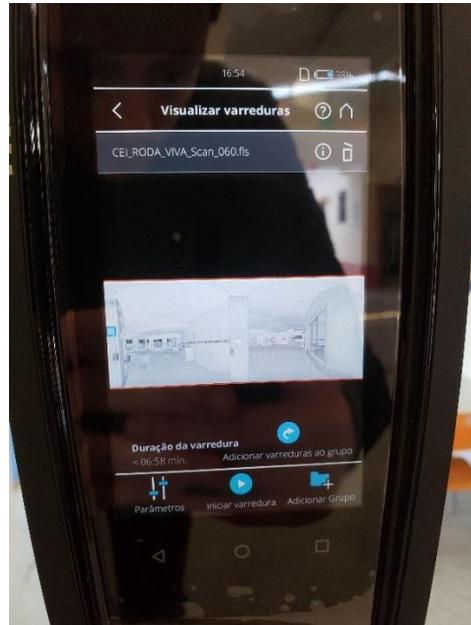
Diferente do *laser scanner*, a vantagem de adotar o drone da digitalização de um edifício existente está no alcance de locais difíceis, onde a instalação de um *laser scanner* seria complexa, a exemplo de edifícios com grande altura ou coberturas inacessíveis (BEDIN, 2019).

### 2.2.3 Nuvem de Pontos

Nuvem de pontos é o resultado do escaneamento com um aparelho *Laser Scanner* ou de um levantamento de imagens realizado com drones. Por meio da nuvem de pontos, forma-se um conjunto de vértices em um sistema tridimensional de coordenadas que representam a superfície externa de um determinado objeto, que na construção civil, refere-se a uma edificação ou infraestrutura. Alguns softwares conectam essa nuvem de pontos diretamente ao BIM, criando um modelo 3D com mais confiança e precisão, como no caso das ferramentas AUTODESK REVIT e do GRAPHISOFT ARCHICAD (ALIZADEHSALEHI; KOSEOGLU; CELIKAG, 2015).

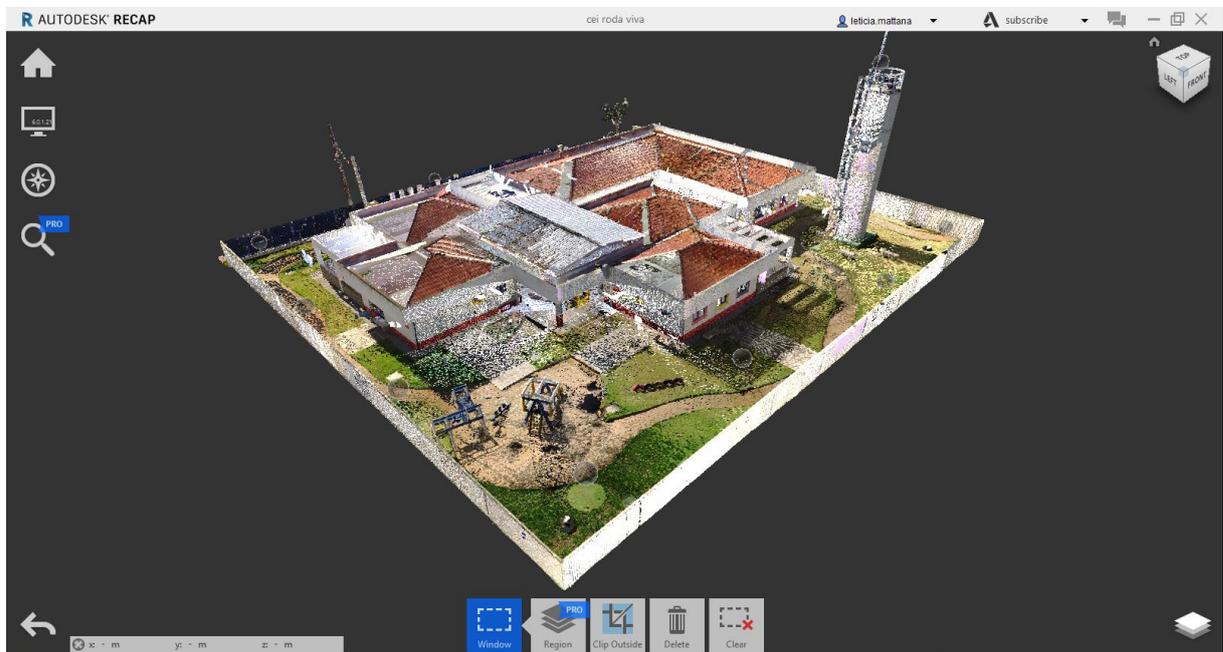
Para gerar a nuvem de pontos, pode-se utilizar as ferramentas dos próprios fornecedores de equipamentos *laser scanner* (Figura 5) ou adotar outras alternativas como o AUTODESK RECAP (Figura 6) e o BENTLEY CONTEXT CAPTURE, que geram a nuvem a partir da fotogrametria das cenas do *laser scanner* ou a partir das fotos do drone. Destaca-se que os formatos de arquivos de nuvens de pontos podem variar dependendo da ferramenta de autoria BIM que será adotado no projeto *as built*. O formato utilizado na ferramenta AUTODESK REVIT é o “.rcp” e o formato utilizado no GRAPHISOFT ARCHICAD é o “.e57” (BEDIN, 2019).

Figura 5 - Tela que captura a nuvem no equipamento FARO Laser Scanner Focus S 350



Fonte: Acervo próprio (2019)

Figura 6 - Nuvem de Pontos da Creche CEI Roda Viva no AUTODESK RECAP

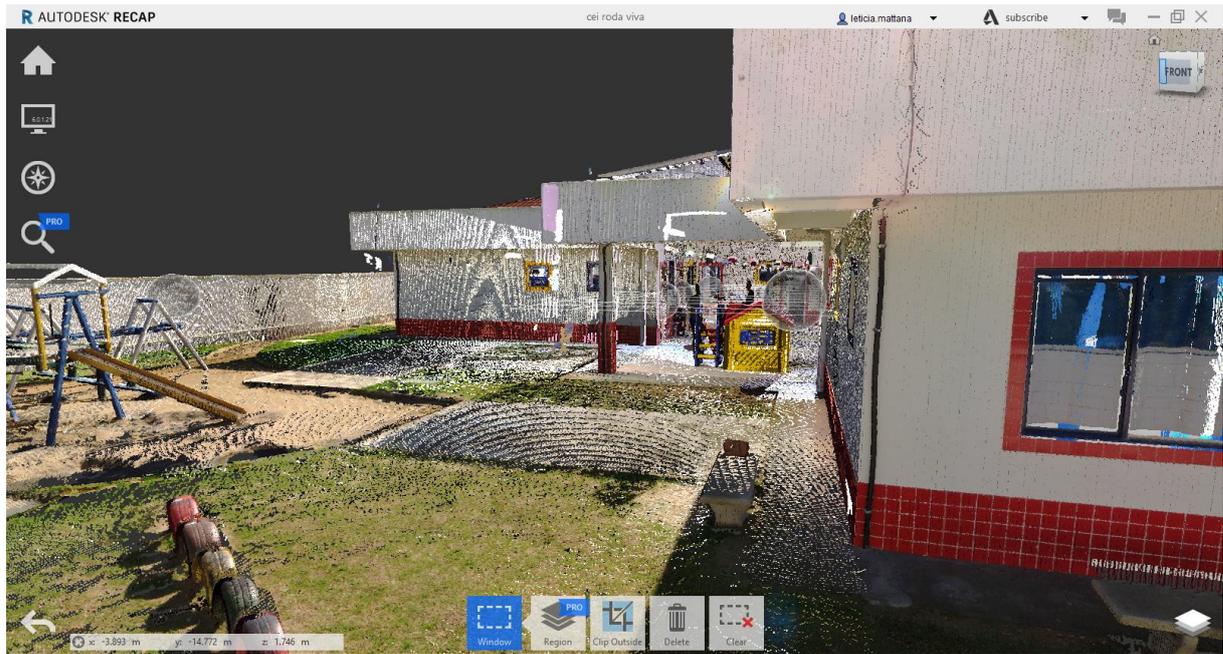


Fonte: Acervo próprio (2019)

A Figura 6 mostra um exemplo de uma nuvem de pontos gerada no software AUTODESK RECAP, com informações oriundas de um levantamento a *laser scanner*. Neste caso, a criação da nuvem de pontos ocorreu por meio das mais de 70 cenas que foram geradas

no equipamento *laser scanner* da FARO. Após finalizar a digitalização da edificação, a nuvem de pontos pode ser exportada para uma ferramenta de autoria BIM para a modelagem completa do *as built* da edificação sobre a nuvem de pontos. A Figura 7 apresenta uma imagem aproximada da nuvem de pontos, onde pode-se visualizar a precisão das informações do levantamento usando *laser scanner*.

Figura 7 - Aproximação da Nuvem de Pontos da Creche CEI Roda Viva



Fonte: Acervo próprio (2019)

É importante salientar que mesmo com uma nuvem de pontos levantada, ainda é necessário trabalhá-la em um software específico para filtrar possíveis pontos errados ou interferências, que são conhecidos como “ruídos”. Dados não estruturados e densos demais podem dificultar muito a análise por não ter distinção entre objetos ou ter pontos muito além do necessário para a modelagem. É interessante ter algum sistema de qualidade manual e automático para adaptar a melhor situação dos dados e obter-se um melhor resultado (RANDALL, 2011).

Alguns métodos foram criados para automatizar a extração de recursos geométricos da nuvem de pontos, com eliminação de vegetações e edificações desnecessárias à cena, os chamados ruídos (AXELSSON, 2000; KRAUS; PFEIFER, 2001). Após o controle de qualidade e a classificação dos pontos da nuvem, é possível criar um modelo BIM (RANDALL, 2011).

A Figura 8 apresenta a acurácia, a distância ao objeto e a densidade de pontos recomendadas para diferentes aplicações de engenharia envolvendo levantamentos com lasers scanners. A exemplo, para uma análise e inspeção estrutural, necessita-se de uma precisão menor que 1 cm. Para tal, o objeto deve estar a uma distância menor que 10 m do equipamento de escaneamento e deve ser capaz de gerar uma densidade de pontos maior que 25 pt/m<sup>2</sup>, para garantir a qualidade do produto que será gerado pelo levantamento.

Figura 8 – Aplicações de levantamentos com *laser scanners* na engenharia

APLICAÇÕES DE ENGENHARIA E GESTÃO		PRECISÃO REQUERIDA	DISTÂNCIA AO ALVO	DENSIDADE DE PONTOS
RÁPIDA MODELAGEM EM ESCALA URBANA		> 1 m	> 100 m	≥ 1.0 pt / m <sup>2</sup>
GESTÃO DOS ATIVOS DE INFRAESTRUTURA		10-100 cm	25-100 m	1.0 - 5.0 pt / m <sup>2</sup>
MONITORAMENTO DO CANTEIRO DE OBRA		< 10 cm	< 25 m	≥ 5.0 pt / m <sup>2</sup>
ANÁLISE E INSPEÇÃO ESTRUTURAL		< 1 cm	< 10 m	≥ 25.0 pt / m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de Randall (2011)

### 2.3 BUILDING INFORMATION MODELING - BIM

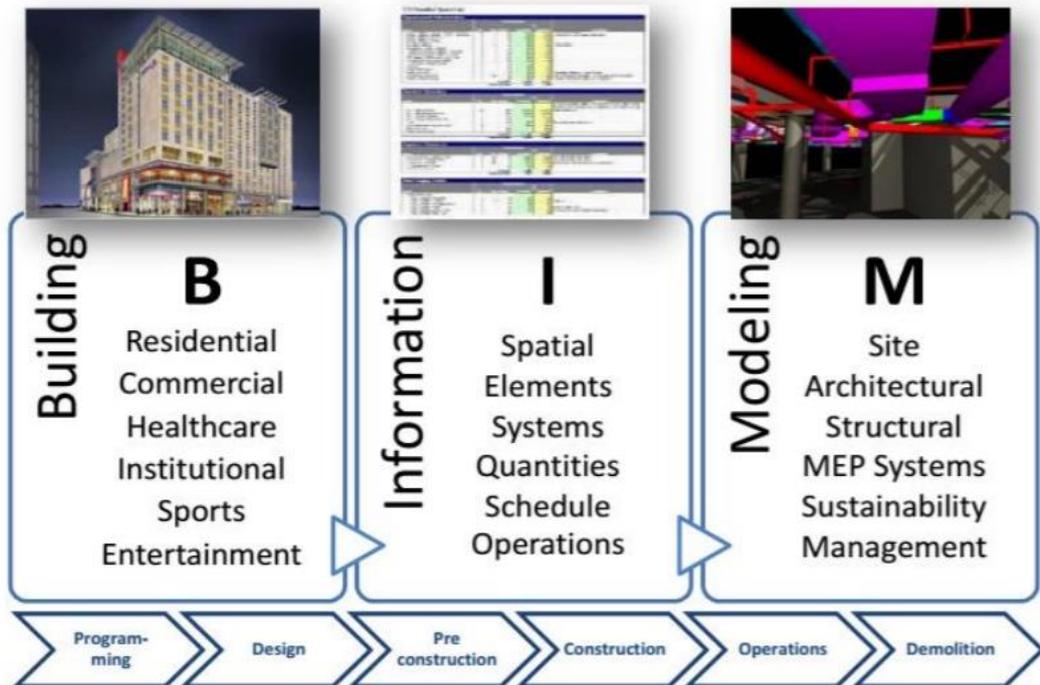
Segundo Eastman et al. (2008), BIM é um processo de trabalho que integra todos os profissionais das áreas de arquitetura e engenharia nas diversas etapas de elaboração de um projeto, criando um modelo virtual preciso que traz melhorias de produtividade e diminuição de custos. Ainda segundo Bazjanac (2004), uma modelagem da informação da construção pode ser usada para demonstrar o ciclo de vida completo de uma edificação, caracterizada pela geometria, informações geográficas e espaciais, quantitativos, propriedades dos materiais, estimativa de custos, dados para manutenção e operação do edifício, *as built* para reformas, dentre outros. Portanto, é importante enfatizar que BIM não é um software ou modelo tridimensional, mas sim uma representação virtual de toda a edificação (LOBANOVA, 2017).

Além disso, o BIM torna-se muito efetivo por incorporar, além da comunicação, colaboração, interoperabilidade e outras vantagens associadas ao processo, uma quarta dimensão de tempo, uma quinta de custo e ainda outras “n” possíveis dimensões que envolvem

a sustentabilidade e manutenção das edificações. Tudo isso em um único modelo que cobre cada aspecto do projeto (MCCUEN, 2008).

Segundo Azhar (2012), BIM está presente em todas as etapas do edifício, desde seu projeto até sua demolição. Na Figura 9 é possível ver quais elementos Azhar (2012) consideram em cada significado da sigla BIM. No âmbito da construção, representada pela letra “B” de “*Building*”, tem-se construções residenciais, comerciais, de saúde, institucionais, esportivas e de entretenimento, contemplando uma diversidade de usos. Já em informação, representada pela letra “I”, há a consideração sobre o espaço, os elementos, os sistemas, os quantitativos, o cronograma e as operações, sendo esta categoria essencial para que BIM possa ter uso nas diversas fases do ciclo de vida da edificação. Finalmente, no que diz respeito ao modelo, representado pela letra “M”, de *Modeling*, tem-se o local, a arquitetura, os projetos estrutural e complementares, a sustentabilidade e a gestão. Todos esses conceitos em conjunto foram a modelagem da informação da construção.

Figura 9 – Representação visual do conceito do BIM



Fonte: Azhar (2012)

Bryde, Broquetas e Volm (2013) analisaram 9 critérios relativos ao BIM em 35 estudos de caso para mostrar que seu uso em projetos de engenharia é vantajoso. Na Figura 10 encontra-se a tabela feita pelos autores com os resultados, que serão discutidos na sequência.

Tabela 1 - Benefícios do uso do BIM em projetos

Success criterion	Positive benefit			Negative benefit		
	Total instances	Total number of projects	% of total projects	Total instances	Total number of projects	% of total projects
Cost reduction or control	29	21	60.00%	3	2	5.71%
Time reduction or control	17	12	34.29%	4	3	8.57%
Communication improvement	15	13	37.14%	0	0	0.00%
Coordination improvement	14	12	34.29%	7	3	8.57%
Quality increase or control	13	12	34.29%	0	0	0.00%
Negative risk reduction	8	6	17.14%	2	1	2.86%
Scope clarification	3	3	8.57%	0	0	0.00%
Organization improvement	2	2	5.71%	2	2	5.71%
Software issues	0	0	0.00%	9	7	20.00%

Fonte: Bryde, Broquetas e Volm (2013)

Segundo os resultados encontrados pelos autores, a redução de custos foi o item mais frequentemente encontrado como vantagem na adoção de BIM, sendo mencionado em 60% dos estudos como um item positivo ao processo que adota BIM. O critério com o segundo maior benefício positivo do uso de BIM foi o tempo, pois doze dos 35 estudos (34,29%) citaram que a redução de tempo foi um fator favorável à modelagem da informação da construção nos projetos analisados. Outro fator muito importante advindo do uso da mencionada tecnologia BIM, é a comunicação e, segundo os resultados de Bryde, Broquetas e Volm (2013), ela foi citada 15 vezes nos estudos de caso como potencialidade da adoção de BIM.

Pelas vantagens que estão sendo elencadas à adoção de BIM no setor da construção civil, muitos países adotaram como obrigação seu uso em alguns tipos de projetos (MCGRAW-HILL CONSTRUCTION, 2014). No Brasil, mais especificadamente em Santa Catarina, foi criado o Caderno BIM, cujo objetivo é o uso obrigatório do BIM em obras públicas, gerando assim, um maior incentivo à utilização da tecnologia no setor privado também (SANTA CATARINA, 2014). No ano de 2018, foi assinado o Decreto Federal nº 9.377 com a finalidade de disseminar o uso do BIM no Brasil. Em 2019, ele foi revogado, pois o novo decreto nº 9.983 atualizou o texto do antigo e manteve o mesmo objetivo principal. Essas ações demonstram que a adoção de BIM é incentivada pelas instituições governamentais.

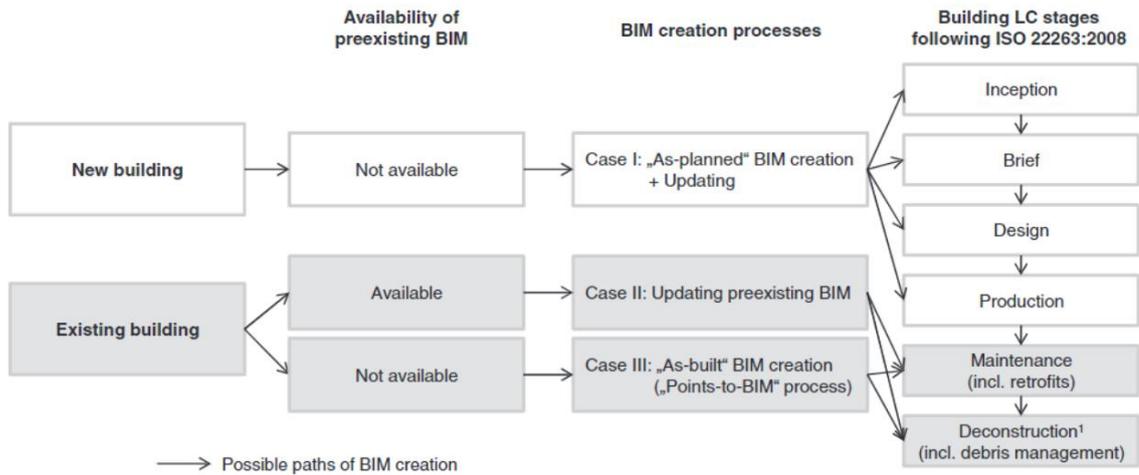
### 2.3.1 Relação entre BIM, Inovações Tecnológicas e As *Built*

Nas últimas duas décadas, o uso do BIM cresceu bastante, junto com suas aplicações nas diversas etapas de uma construção, como planejamento, design, *as built*, entre outras (BRYDE, BROQUETAS E VOLM, 2013).

É importante mencionar o uso do BIM para edificações já existentes. Como ilustrado na Figura 10, o modelo BIM pode ser atualizado constantemente durante o ciclo de vida da

edificação, visando maior incorporação de informações e a manutenção e operação futuras (AKCAMETE et al., 2009), ou criando processos como escaneamento com nuvem de pontos, com informações oriundas de uma edificação existente e com finalidade de *as built*, ou manutenção ou então uma reforma, por exemplo (VALERO et al., 2011).

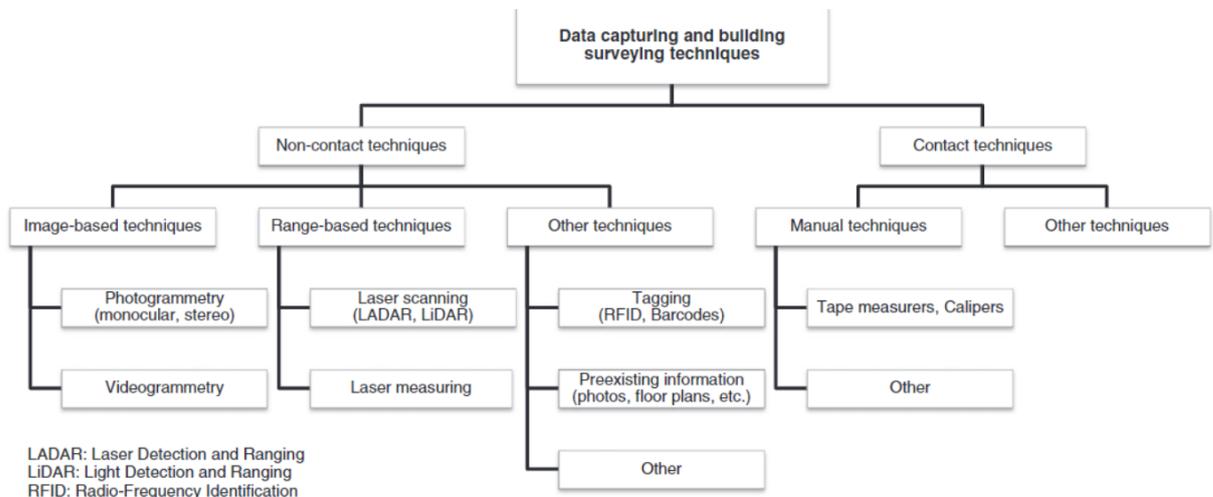
Figura 10 - Modelo de criação BIM em edificações novas ou já existentes



Fonte: Haijan e Becerik-Gerber (2010)

Quando o processo de criação do BIM encontra-se no caso III da Figura 10, escolhe-se um dos métodos da Figura 11 para se fazer o *as built* e criar o modelo da informação da construção escolhida (EASTMAN et al., 2008).

Figura 11 - Visão geral da técnica de captura e levantamento de dados de edificações



Fonte: Eastman et al. (2008)

As técnicas baseadas em imagens e em escaneamento a laser extraem majoritariamente informações de espaço, cor e refletividade (HAJIAN; BECERIK-GERBER, 2010) e, apesar de essas técnicas requererem um maior processamento de dados, exigindo melhores hardwares e expertises para modelar, elas apresentam uma precisão maior (MILL; ALT; LIAS, , 2014).

As técnicas manuais capturam majoritariamente informações espaciais, enquanto as baseadas em informações preexistentes são mais utilizadas para complementar e as que fazem uso de sensores RFID são raramente utilizadas (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN., 2014)

De acordo com Hajian e Becerik-Gerber (2010), criar um modelo BIM através de um escaneamento com *laser scanner*, envolve três processos: escaneamento, registro e modelagem, e para atingir cada vez menores custos e melhores resultados, tem-se algumas ressalvas.

O primeiro processo, que faz uso do *laser scanner*, pode ser melhorada a tecnologia de escaneamento para poupar tempo, aumentar ainda mais a produtividade e baixar custos. Ainda há o fato de necessitar de um operador para posicionar o escâner no local certo, caso contrário a cena não é levantada corretamente (HAJIAN; BECERIK-GERBER, 2010).

No processo de registro, percebe-se que ter-se-ia uma vantagem caso o posicionamento do equipamento fosse automatizado. Finalmente, na modelagem, nota-se que a criação do modelo 3D a partir da nuvem de pontos é algo bem manual e sujeito a erro humano, depende da experiência e formação do profissional que estará neste trabalho, além de envolver um alto custo devido aquisição de bons computadores, softwares e treinamentos (HAJIAN; BECERIK-GERBER, 2010).

Ainda segundo Hajian e Becerik-Gerber (2010), após a criação do modelo BIM do objeto de estudo, percebe-se a falta de informações técnicas resultantes do levantamento, forçando o operador do equipamento a fazer anotações manuais dos detalhes construtivos e constituição da edificação.

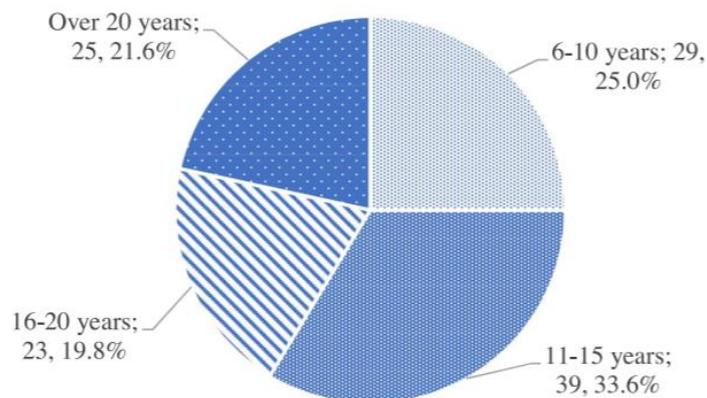
Além de tudo, o BIM é uma tecnologia com alto potencial de ser utilizado como parte de uma cidade inteligente e sustentável (MARZOUK; OTHMAN, 2020). Nesse sentido, Wang (2015), fez um dos primeiros estudos que consideravam a implementação de tal tecnologia nas cidades inteligentes. Em seu estudo, ele construiu um modelo de *Smart City* instalando sensores nas mais diversas infraestruturas de uma região. Ho e Rajabifard (2016), tentaram utilizar o BIM em escala urbana em Singapura. Eles enfrentaram alguns desafios, como falta de demanda e obrigação do uso da tecnologia por parte do governo, práticas enraizadas do uso do 2D, curva longa de aprendizado, falta de mão de obra especializada e afins.

Embora haja todos esses desafios na implementação da Modelagem da Informação da Construção tanto na infraestrutura, quanto nas edificações comuns, Eadie et al. (2013) dizem que a resistência cultural existente no setor da construção civil tem enorme influência nas dificuldades de colocar em prática o uso do BIM.

Ma et al. (2020), também destacam que apesar das dificuldades e desafios encontrados no uso do *Building Information Modeling* no setor da construção civil, oriundas normalmente da já consolidada experiência de muitos profissionais com tecnologias anteriores, como o CAD, e da resistência à mudança do *Modus Operandi* de trabalho, a adoção de BIM já tem uma boa aderência.

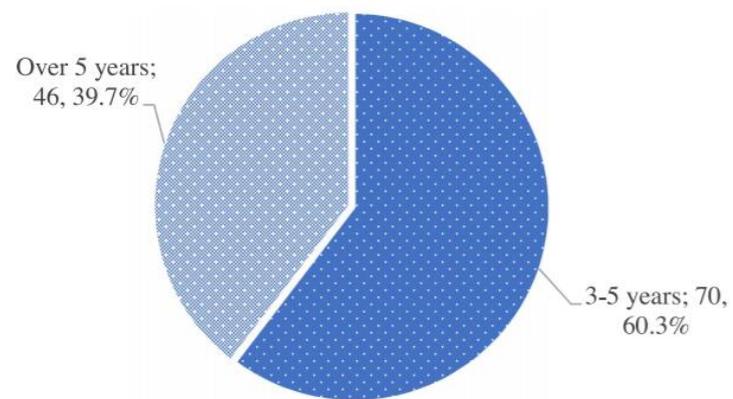
As Figura 12 e Figura 13 evidenciam o resultado da pesquisa feita por Ma et al. (2020). Do total de 116 profissionais da área da construção civil e arquitetura que responderam os questionários dos autores, 75% tem 11 anos ou mais de experiência de trabalho e dentre todos, 39,7% já trabalha com o BIM há mais de 5 anos. Isso demonstra que, apesar de todos os desafios mencionados, os profissionais estão aderindo à nova tecnologia.

Figura 12 - Experiência profissional dos pesquisados



Fonte: Ma et al. (2020)

Figura 13 – Experiência de uso do BIM dos pesquisados



Fonte: Ma et al. (2020)

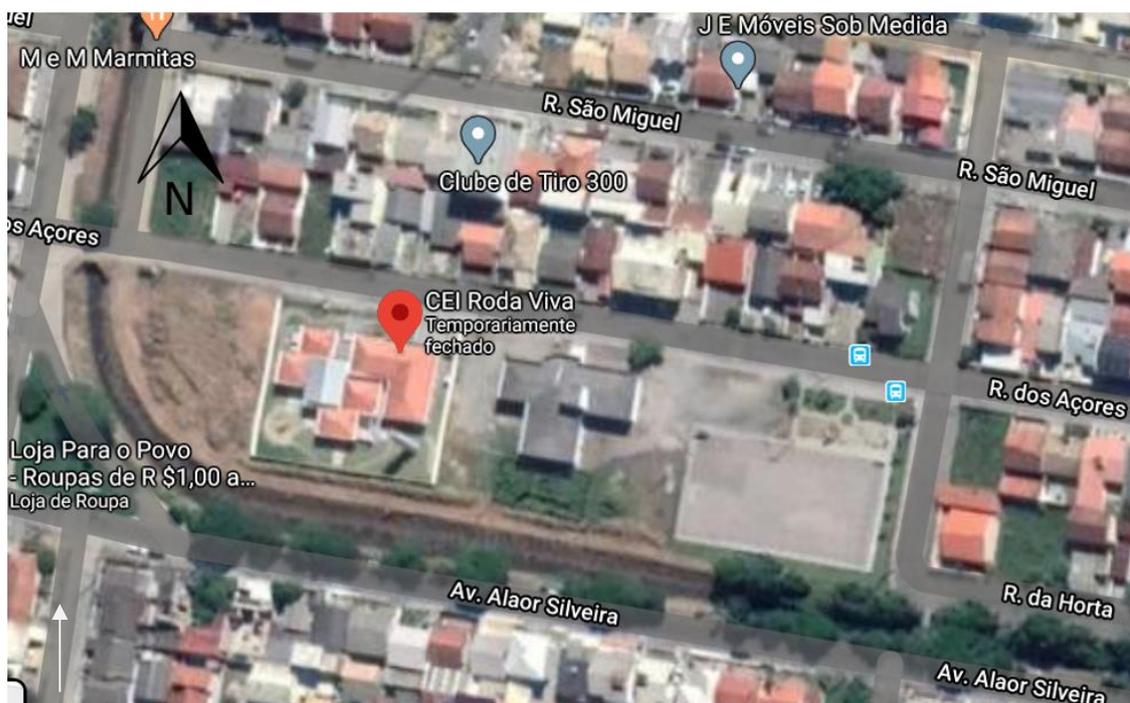
### 3 MÉTODO E PROCEDIMENTOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma edificação pública da cidade de Palhoça, Santa Catarina (SC). A edificação escolhida foi o Centro de Educação Infantil (CEI) Roda Viva localizada no bairro São Sebastião e que atende por volta de 160 crianças de 0 a 5 anos de idade. Inaugurada em 14/08/2018, a creche tem aproximadamente 670 m<sup>2</sup> construídos, sendo 5 salas de aula, 4 banheiros para as crianças, 2 banheiros para os funcionários, copa, cozinha, 3 depósitos, sala do servidor, sala dos funcionários, diretoria, pátio e 4 áreas externas cercadas.

Na Figura 15 tem-se a localização da creche, na Rua dos Açores e na Figura 16 tem-se uma imagem da sua fachada frontal. A Figura 17 mostra uma foto aérea da edificação da creche, onde se pode perceber que se trata de uma edificação térrea.

Figura 14 – Localização da CEI Roda Viva



Fonte: Google Maps (2020)

Figura 15 – Fachada da CEI Roda Viva



Fonte: Acervo do autor (2019)

Figura 16 - Imagem da CEI Roda Viva



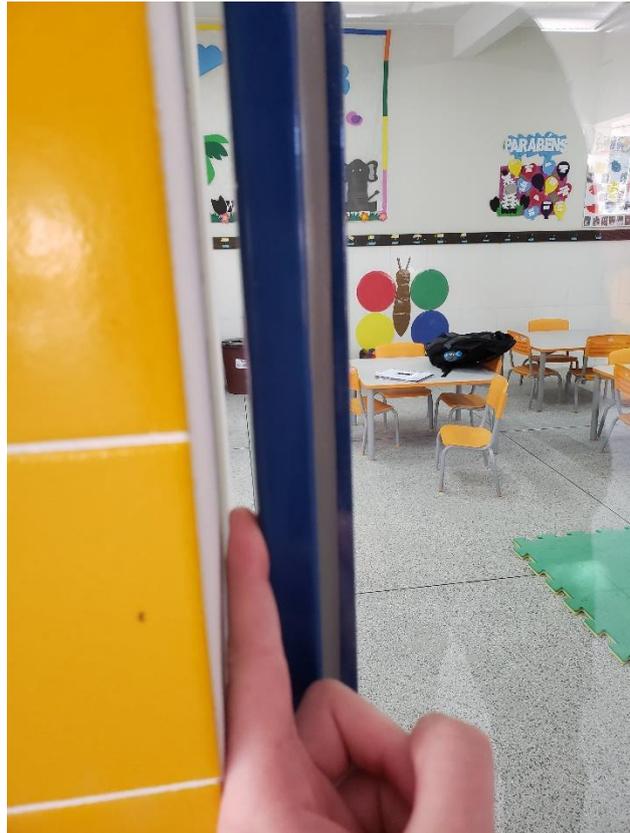
Fonte: NSC Total (2019)

Essa edificação faz parte de um projeto conhecido como “De olho na obra”, que tem como objetivo fiscalizar obras públicas em Palhoça/SC, por meio do uso de tecnologias como a de escaneamento a laser, cujo objetivo final é de mostrar o benefício da metodologia BIM para melhorar a qualidade dos projetos e obras, gerando mais economia e evitando desperdícios para os cofres públicos (OSBRASIL, 2019). Nesta edificação estudada neste TCC, ocorreu grande quantidade de problemas construtivos e, por isso, optou-se por realizar esta pesquisa neste caso de estudo.

Por exemplo, na primeira visita ao empreendimento, para a realização de um dos levantamentos de dados para este TCC, foi possível notar visualmente algumas incongruências construtivas devidas à execução da obra. Dentre elas, destaca-se um problema envolvendo o requadro das esquadrias, que em algumas áreas, foi executado fora do esquadro, gerando folga

entre o requadro executado e a esquadria da janela e, com isso, permitindo que intempéries entrem no ambiente. A Figura 17 apresenta uma imagem na qual é possível observar a folga de aproximadamente 1 centímetro entre o requadro da janela e a esquadria de uma sala de aula infantil.

Figura 17 - Requadro fora do esquadro na esquadria da sala GT2



Fonte: Acervo do autor (2019)

A fim de mitigar problemas construtivos, de gestão e de orçamento em edificações públicas como essa, foi criado o Observatório Social do Brasil, ou OSB, que esteve presente durante o dia de levantamento de informações da creche com o *laser scanner*. O OSB é uma instituição não governamental, sem fins lucrativos e seu sistema é formado por voluntários engajados na causa da justiça social visando contribuir para a melhoria da gestão pública (OBSERVATÓRIO SOCIAL DO BRASIL, 2020)

O Observatório Social da Palhoça (2019), um dos braços do OSB, é um dos parceiros para viabilização deste trabalho de conclusão de curso, juntamente com as empresas FARO

Technologies, AltoQI e Graphisoft, além do apoio do Laboratório BIM do Estado de Santa Catarina (LaBIM).

Destaca-se que nos três dias de levantamento de dados do TCC em campo não havia crianças na creche. No primeiro dia, com o equipamento *laser scanner*, estavam a equipe do levantamento e alguns funcionários da CEI durante o dia todo, além dos representantes do Observatório Social de Palhoça e a imprensa no período da manhã. No segundo e no terceiro dia de levantamento em campo estavam presentes apenas a equipe do levantamento e alguns funcionários da CEI.

### 3.2 PROCEDIMENTOS

O levantamento de dados da creche ocorreu por meio de dois métodos mencionados na introdução, o *as built* tradicional e o *as built* com suporte de tecnologias digitais como o BIM e o *laser scanner*, para que pudesse ser feita a comparação de tempo, custo e precisão dos dados.

O parâmetro que serviu de base para poder ser feita a comparação entre os dois métodos estudados foi o levantamento de dados parcial da edificação, contendo as informações a seguir:

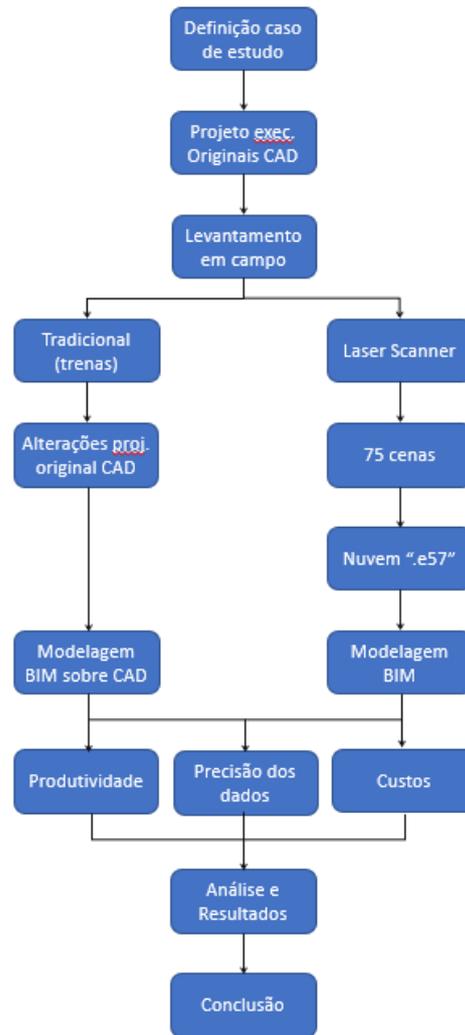
- Arquitetura: ambientes, áreas, esquadrias, níveis etc.;
- Elétrico: tomadas, interruptores, quadros, luminárias etc.;
- Hidrossanitário: registros, torneiras, misturadores, lavatórios, vasos, chuveiros, ralos etc.

As informações acima serviram de base para o levantamento de dados *as built* convencional. O equipamento *laser scanner* levantou todas as informações possíveis com o uso desta tecnologia. Após o levantamento, foram criados os modelos BIM, com todas as informações que foram capturadas, além de uma tabela para fins de comparação das informações obtidas.

É importante salientar que, em ambos os métodos, levantou-se apenas o que é aparente, pois os dutos, tubos e cabos dentro de paredes, boa parte da estrutura, fundação e afins não são possíveis de captar com nenhum dos tipos de métodos apresentados neste trabalho. A Figura 18 apresenta o método adotado para elaboração deste TCC e o Quadro 1 apresenta uma síntese das principais etapas realizadas nesta pesquisa e respectivas informações.

Ademais, as modelagens que foram consideradas para a comparação são as do projeto arquitetônico como construído.

Figura 18 - Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Quadro 1 – Síntese das Principais Etapas do Trabalho

Atividades	Períodos e/ou Datas	Pessoas envolvidas / dia	Experiência dos envolvidos	Softwares e Equipamentos
Levantamento Tradicional	02/08/2019	2	Estudantes	Trena manual e digital
	05/10/2019		Estudante e Professora	Trena manual e digital
Levantamento Laser Scanner	03/07/2019	1	Engenheiro FARO	Laser Scanner FARO S 350

Adaptação CAD Projeto Original	18/05/2020 a 25/06/2020	1	Estudante Eng. Civil	AutoCAD
Modelagem Tradicional	26/06/2020 a 18/07/2020	1	Estudante Eng. Civil	ARCHICAD
Modelagem Nuvem de Pontos	Março a julho de 2020	1	Estudante ARQ&URB	ARCHICAD

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

### 3.2.1 Levantamento de informações de forma tradicional

O levantamento do objeto de estudo utilizando a forma tradicional foi feito através do uso de uma trena laser (Figura 19), uma trena tradicional (Figura 20), uma prancheta e plantas do projeto executivo original impressas.

A trena laser é a principal ferramenta para o *as built* tradicional, pois proporciona a aferição das medidas das áreas com mais rapidez e precisão em comparação à trena comum. Contudo, para que a medida seja computada neste equipamento, é necessário um anteparo na extremidade do laser para que ele calcule a distância da trena até este obstáculo.

Mesmo com a grande vantagem do uso da ferramenta a laser, a trena tradicional ainda é essencial para o levantamento, pois auxilia principalmente em medidas pequenas ou onde não há um anteparo para se fazer a medida com a trena laser.

A prancheta é um item simples, porém imprescindível no *as built* tradicional, visto que ela proporciona estabilidade para o profissional desenhar o croqui em qualquer lugar do empreendimento, sem necessitar de uma mesa, por exemplo.

Finalmente, o projeto executivo serve, muitas vezes, como grande acelerador da produtividade deste método de levantamento, pois evita que o profissional tenha que desenhar todo o croqui do zero e possa conferir as áreas já impressas no papel com mais rapidez. É necessário salientar que, em áreas da edificação onde o *as built* esteja muito diferente do projeto, o uso deste pode atrapalhar e, portanto, recomenda-se desenhar o croqui do zero.

Figura 19 – Trena laser Stanley TLM 330



Fonte: Acervo próprio (2019)

Figura 20 – Trena convencional



Fonte: Acervo próprio (2019)

Abaixo, no Quadro 2, tem-se todas as áreas levantadas através do método tradicional e sua respectiva data, além de informar que o levantamento foi realizado por 2 pessoas.

Quadro 2 – Áreas e suas datas do levantamento através do método tradicional

Data	Área	Nº Pessoas
02/08/2019	GT3	2
	GT4	2
	BWC1	2
	Correções Luzes	2
	Intervalo Almoço	2
	GT2 + Varandas	2
	GT1 + Sala Soneca+ Sala Banho	2
	Varandas da GT3 e GT4	2
	Banheiro adulto	2
	Sala da diretora	2
	Depósito diretoria	2
	GT5	2
	Cozinha	2
	Copa	2
05/10/2019	GT5	2
	Depósito 1	2
	Intervalo	2
	Copa	2
	Depósito 2	2
	BWC Masculino	2
	BWC Feminino	2
	Intervalo	2
	Lavanderia e Depósito 3	2
	Cozinha e Depósito 4	2

Fonte: Acervo próprio (2020)

### 3.2.2 Levantamento de informações com *laser scanner*

Para o levantamento do objeto de estudo utilizando o método mais inovador, utilizou-se o equipamento *laser scanner* FARO Focus S 350 da empresa estadunidense Faro. Para fins de comparação e com o objetivo de demarcar os pontos e a ordem de varredura do aparelho, fez-se uso também de uma prancheta com um croqui da edificação. Salienta-se, no entanto, que o próprio *laser scanner* já indica todos os pontos georreferenciados em uma planta baixa construída por ele, com o nome de “cenas”.

A metodologia utilizada pelo profissional da FARO Technologies foi baseada em sua boa experiência neste tipo de levantamento. Antes de mais nada, era necessário retirar o

equipamento de sua maleta de proteção, montá-lo e ligá-lo. Com ele devidamente ligado e com um cartão SD inserido, criava-se um nome para o projeto, ajustava-se a resolução de interesse e habilitava-se as cores para uma melhor distinção na nuvem de pontos. Finalmente, ao escolher o local de varredura, bastava tocar no botão de *play*. Nota-se que, ao trocar de lugar, podia-se mudar a resolução de acordo com a necessidade.

Com relação à escolha dos locais, o profissional posicionava o equipamento no centro das áreas de interesse, em seguida, colocava o *laser scanner* embaixo do batente da porta de cada área, de modo que ele conseguisse captar metade da área externa do ambiente e metade da área interna, com o intuito de fazer a amarração das cenas internas e externas. Segundo o profissional, isso servia para conectar as cenas feitas no centro dos cômodos.

Para a captura de cada ponto eram necessários tempos de espera distintos, que variavam de acordo com a resolução necessária. Os pontos externos, que continham mais informações e dados, precisavam de uma maior resolução e quando ajustados no equipamento, duravam 4 minutos e 8 segundos, enquanto os internos, 2 minutos e 36 segundos. O ponto em cima da caixa d'água, que teve por objetivo levantar a cobertura da creche, durou 6 minutos por necessitar de mais pontos na nuvem. Essas durações eram pré-definidas de acordo para a respectiva resolução escolhida no equipamento *laser scanner*.

Durante o escaneamento, é importante desobstruir qualquer tipo de obstáculo ou barreiras que possam interferir na boa captação dos dados, que são puramente visuais. No dia em questão, a creche estava relativamente vazia e quando alguma cena estava sendo criada, todos saíam do campo de visão do Focus S 350, se locomovendo para outros cômodos, visto que a visão do aparelho é 360°.

Após o levantamento, o profissional retirou os dados do cartão SD e transferiu tudo para uma plataforma online da FARO, a FARO Box, a fim de viabilizar a realização deste trabalho de conclusão de curso e do projeto “De Olho na Obra”. Foram 75 arquivos referentes às 75 cenas varridas e disponíveis nos formatos “.e57” e “.fls”. O primeiro formato é a nuvem de pontos compatível com o software ARCHICAD e o segundo formato é uma extensão da própria FARO.

Além dos arquivos, o profissional da FARO também disponibilizou uma pré-visualização da nuvem através de uma url (ANEXO A), onde é possível ver as cenas coletadas, a planta construída pelo *laser scanner* e a nuvem de pontos simplificada e fotos panorâmicas de todas as cenas coletadas. A Figura 21 apresenta uma imagem obtida deste visualizador da FARO.

Figura 21 - Planta construída pelo *laser scanner*



Fonte: FARO Box (2019)

Na Figura 21, cada símbolo em formato de gota significa uma cena capturada, a qual contém uma foto panorâmica, ou 360°, e uma pequena demonstração da nuvem de pontos. Já o círculo azul indica que naquela região existem outros pontos varridos, por exemplo, onde contém o número 8, significa que ao dar um zoom, 8 novos símbolos em formato de gota irão aparecer em seus devidos lugares representando, cada um, uma cena distinta.

A Figura 22 ilustra a visualização da nuvem de pontos simplificada da 11ª cena capturada no dia, referente ao projeto CEI Roda Viva. Nela observa-se que há um baixo número de pontos, visto que o objetivo desta imagem na web é de servir apenas como uma pré-visualização. Destaca-se que, apesar de simples e impeditivo de criar uma modelagem em cima desta url em um navegador, ela mostrou-se útil para capturar distâncias reais, pois o site contém uma ferramenta de medida.

Figura 22 - Nuvem de pontos simplificada da cena “CEI\_RODA\_VIVA\_Scan\_011”



Fonte: FARO Box (2019)

Figura 23 - Imagem panorâmica da cena “CEI\_RODA\_VIVA\_Scan\_011”



Fonte: FARO Box (2019)

O quadro 2 apresenta todas as áreas levantadas pelo equipamento *laser scanner*, além da data e do número de pessoas, que diferentemente do levantamento tradicional, levou apenas 1 dia e 1 pessoa.

Quadro 2 - Áreas e suas datas do levantamento com o equipamento *laser scanner*

Data	Área	Nº pessoas
04/08/2019	Área externa	1
	BWC 1	1
	BWC 2	1
	BWC 3	1
	BWC 4	1
	BWC 5	1
	BWC 6	1
	BWC 7	1
	Caixa d'água	1
	Copa	1
	Cozinha	1
	Déposito 1 (GT5)	1
	Depósito 2	1
	Depósito Diretoria	1
	Diretoria	1
	GT1	1
	GT2	1
	GT3	1
	GT4	1
	GT5	1
	Lavanderia	1
	Pia fora da cozinha	1
	Sala dos funcionários	1
	Sala Soneca	1
Servidor PC	1	
Varanda GT2	1	
Varanda GT3 e GT4	1	

Fonte: Acervo próprio (2020)

### 3.2.3 Modelagem do *as built* sobre o projeto bidimensional

A metodologia de modelagem do *as built* iniciou entre os dois dias de levantamentos em campo. Primeiramente, após o primeiro dia de trabalho, adequaram-se, no arquivo “.dwg”, algumas das áreas mais críticas, que estavam mais diferentes com relação à realidade da edificação, a fim de ganhar tempo no segundo dia de levantamento. Percebeu-se que a execução da obra estava diferente do projeto executivo original. Para o segundo dia, foram levados impressos esses ambientes corrigidos conforme o executado.

Após a total conclusão do levantamento, adaptaram-se todas as áreas de todos os projetos em “.dwg”, conforme o construído, através do uso do software AutoCAD da Autodesk. Para tal, foram transferidos todos os croquis e projetos editados em papel para o modelo bidimensional digital.

Assim que o arquitetônico estava devidamente atualizado conforme o *as built*, pode-se iniciar a modelagem tridimensional do projeto. Nesta etapa foi utilizado o software ArchiCAD da empresa Graphisoft.

Com o propósito de verificar o tempo, todos as durações de adaptação do projeto no AutoCAD e da modelagem no ArchiCAD foram contabilizados e serão apresentados no capítulo de resultados.

Salienta-se que a ideia neste trabalho foi de recriar o modelo do projeto arquitetônico da creche de forma genérica para comparações de precisão das medidas, de tempo e dos custos. Portanto, não foram levadas em consideração as camadas internas das paredes, como emboço e chapisco, ou as aparências e cores da edificação, tampouco os projetos elétricos e hidrossanitários. Observa-se, ainda, que as coberturas apresentadas no modelo final, no Apêndice A, são apenas para fins estéticos de apresentação deste TCC e não refletem as coberturas reais do objeto de estudo.

O Anexo B contempla o projeto original antes de qualquer modificação, já o Apêndice B mostra o desenho bidimensional da creche após as alterações devidas ao *as built*.

### **3.2.4 Modelagem BIM sobre nuvem de pontos**

Em março de 2020, foi feita a junção de todas as 75 cenas capturadas pelo *laser scanner* através do programa RECAP, da Autodesk, que possui uma ferramenta de união de arquivos *point cloud* e permite sua exportação em diferentes formatos. Com isso, foi possível exportar uma nuvem de pontos consolidada no formato “.e57”, permitindo, assim, a modelagem do objeto de estudo.

Essa junção permitiu a modelagem BIM sobre a nuvem de pontos, que foi realizada por uma bolsista do Grupo de Extensão em BIM (GEBIM) da Universidade Federal de Santa Catarina, por meio de um Projeto de Extensão vinculado ao Programa Probolsas 2020, intitulado “Digitalização de Edifícios Públicos” (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2020).

Segundo a bolsista, a modelagem ocorreu de forma não muito produtiva devido à necessidade de um hardware potente para manipular e modelar a nuvem de pontos de forma satisfatória. (UFSC, 2020) O computador utilizado pela bolsista tem um processador Pentium de 1,8 GHz de 2 núcleos, 4 GB de memória RAM e uma GPU integrada Intel HD Graphics. As especificações mínimas para rodar um software de manipulação de nuvem de pontos, como o FARO Scene, é um processador quad-core (4 núcleos) com pelo menos 2 GHz, 32 GB de memória RAM e uma placa de vídeo dedicada de pelo menos 4 GB. (KNOWLEDGE FARO, 2020)

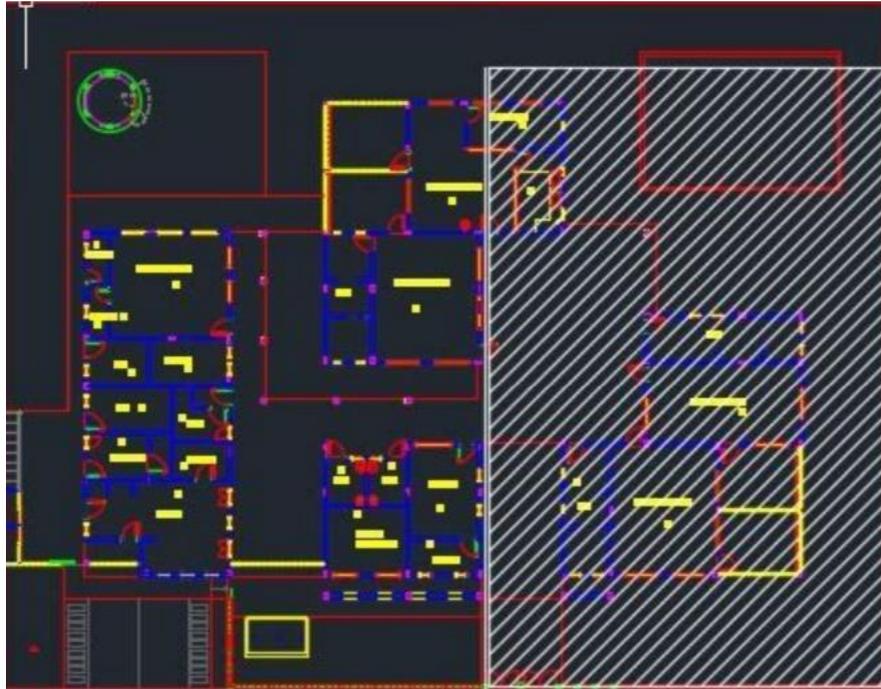
Entretanto, percebeu-se que, ao utilizar o ArchiCAD, havia um ganho de performance, pois o formato de nuvens de pontos compatível por ele, o “.e57” e seus requisitos mínimos são menores que o do FARO Scene com a extensão “.fls”. Portanto, a bolsista utilizou o software da Graphisoft para fazer a modelagem da nuvem de pontos da creche. Nota-se que, pela complexidade da creche não ser muito grande, o manuseio da mesma em computadores com hardwares inferiores é menos exigente. Ademais, a bolsista separou a nuvem em duas partes, uma de 2,25 GB e outra de 2,21 GB, facilitando a manipulação do arquivo pelo seu computador e aumentando sua produtividade, compensando, assim, o hardware.

A modelagem da primeira parte iniciou no dia 18/03/2020 e foi finalizada no dia 19/06/2020. Durante este período, foram trabalhadas sobre a nuvem aproximadamente 12h por semana, sendo 60% ocupadas aguardando o processamento do programa, devido ao hardware do computador da bolsista e a complexidade da nuvem de pontos (UFSC, 2020).

A primeira parte que foi modelada englobou os ambientes listados abaixo e representados na Figura 24 pelo hachurado.

- Sala de aula GT4;
- BWC;
- Sala de aula GT3;
- BWC;
- Sala soneca;
- Parte da sala de aula GT1.

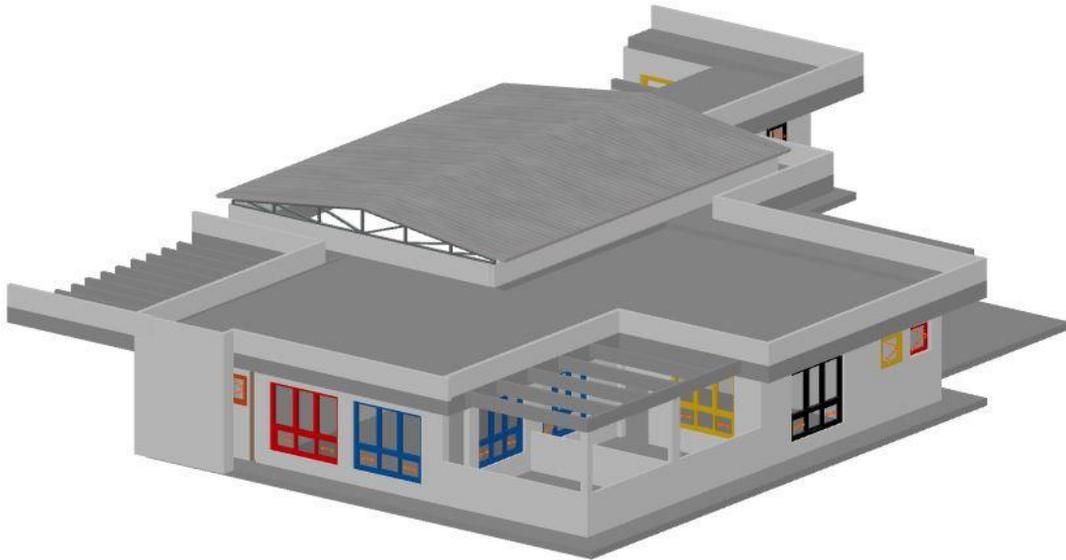
Figura 24 - Primeira parte da modelagem BIM da nuvem de pontos



Fonte1: Acervo do autor (2020)

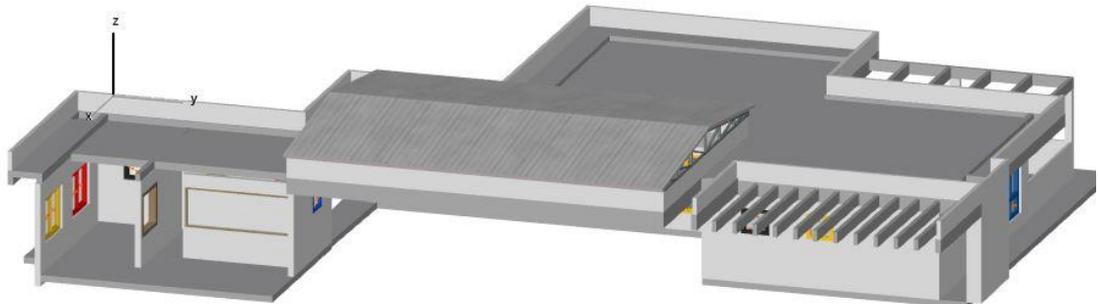
A modelagem de ambas as partes foi realizada através da visualização da nuvem de pontos em planta baixa, elevações, cortes e com o modelo 3D, buscando manter a modelagem o mais próximo da realidade construída possível. As Figura 25 e Figura 26 ilustram a primeira parte.

Figura 25 - Modelo BIM da primeira parte da nuvem de pontos



Fonte: Universidade Federal de Santa Catarina (2020)

Figura 26 - Ângulo alternativo do modelo parcialmente modelado



Fonte: Universidade Federal de Santa Catarina (2020)

No dia 22/06/2020 foi iniciada a modelagem da segunda parte do projeto. Para tal, primeiramente inseriu-se a segunda parte da nuvem de pontos inteira no arquivo já existente, porém, o arquivo ficou demasiadamente pesado, dificultando a modelagem. Portanto, dividiu-se essa segunda parte em outras duas, tornando assim o arquivo mais leve.

Até a elaboração deste trabalho de conclusão de curso, a modelagem BIM sobre a nuvem de pontos do objeto de estudo não havia sido concluída em sua totalidade, mas cerca de

2/3. Portanto, para os resultados e comparações, foi considerado 2/3 do modelo, que já eram suficientes para a análise.

### **3.2.5 Tempo do levantamento e da modelagem do *as built* tradicional**

Para a realização do *as built* tradicional, foi combinada uma data com a diretora da CEI Roda Viva no dia do levantamento com o *laser scanner*.

O primeiro dia de levantamento com o uso das trenas, em 02/08/2019, contou com duas pessoas para uma maior produtividade. O trabalho foi feito de modo que uma pessoa ficasse responsável pelas anotações das medidas e pelos desenhos enquanto a outra fez uso das trenas para fazer as medições. Os equipamentos utilizados foram uma trena convencional, uma trena laser, uma prancheta, plantas do projeto original, lapiseira e borracha.

Devido à necessidade de fazer o *as built* do hidrossanitário e do elétrico aparentes, além do arquitetônico, foi preciso um segundo dia para terminar o levantamento. Portanto, no dia 05/10/2019, as medidas restantes foram obtidas com um time de duas pessoas novamente.

É importante salientar que, devido as grandes divergências encontradas em algumas das áreas do objeto de estudo, a produtividade no primeiro dia do levantamento foi diminuída para desenhar-se croquis. Após, as áreas diferentes foram passadas para o projeto no AutoCAD e, no segundo dia de levantamento, foram levadas novas plantas impressas com os layouts ajustados, aumentando a produtividade.

Após o trabalho de campo, iniciou-se a adaptação total do projeto original no AutoCAD para tornar-se o projeto de *as built* e, finalmente, o modelo 3D feito no ArchiCAD. Todo esse processo foi feito por apenas uma pessoa, o autor deste TCC, que possui uma boa experiência no AutoCAD e algum conhecimento no software da Graphisoft. Devido ao hardware não muito exigente para ambos os programas no que diz respeito a desenho e modelagem em cima de planta bidimensional, e pelo fato do computador utilizado apresentar os requisitos mínimos para tal, o tempo não foi afetado. Salienta-se que, pela modelagem do objeto de estudo com o método tradicional poder ser genérica, sem considerar as camadas, interiores, cores e afins, houve um ganho de tempo.

Todos os tempos de levantamento, projeto e modelagem serão apresentados no capítulo de resultados.

### 3.2.6 Tempo do levantamento e da modelagem sobre a nuvem de pontos

O levantamento com *laser scanner* ocorreu em apenas um dia, em 04/06/2019, com apenas um profissional operando o equipamento. Dada as boas condições climáticas necessárias para a captura dos pontos externos, o baixo fluxo de pessoas no dia e a boa experiência do operador, a produtividade foi excelente.

O tempo de modelagem sobre a nuvem de pontos esteve diretamente ligada à experiência da bolsista e ao seu hardware disponível. Devido às grandes exigências de hardware para se trabalhar com uma nuvem de pontos e dada a complexidade deste método inovador, houve um aumento de tempo utilizado. Por outro lado, pela manipulação inteligente da nuvem, dividindo-a em duas partes menores, bem como a utilização de um software um pouco menos exigente em termos de computador, conseguiu-se um ganho de tempo.

Salienta-se que o profissional da FARO que utilizou o *laser scanner* em campo possui anos de experiência na área. A bolsista responsável pela modelagem do projeto sobre a nuvem de pontos é graduanda da 5ª fase de Arquitetura e Urbanismo e possui uma capacitação em ArchiCAD adquirida através da plataforma online “Projetou”. Ela tem, ainda, um diploma técnico em informática no IFSC, que interfere em sua produtividade positivamente, pois ajuda em sua assimilação e rápida aprendizagem com o software utilizado. Observa-se que a bolsista focou apenas na modelagem do projeto arquitetônico.

Todos os tempos de levantamento, projeto e modelagem serão apresentados no capítulo de resultados.

### 3.2.7 Estimativa dos custos envolvidos em cada etapa

Para fazer a comparação de custos de levantamento, utilizou-se um salário piso de um Engenheiro Civil com regime de 8h diárias (BRASIL, 1966) e um salário médio de um estagiário com regime de 30h semanais para a grande Florianópolis (GLASSDOOR, 2020) para o levantamento tradicional.

Para o levantamento com *laser scanner* foi considerado um salário de um profissional que trabalha com o *laser scanner* bem como o custo de aluguel do equipamento por um dia de trabalho.

Para os custos de modelagem com método tradicional, foi considerado o mesmo salário de um estagiário de Engenharia Civil utilizado nas despesas com o levantamento. Já

para a modelagem em BIM sobre a nuvem de pontos, neste trabalho considerou-se o valor de uma bolsista de graduação da UFSC de março de 2020 para condizer com o tempo encontrado. Para ambos também foi considerado o custo de uma licença de um mês do software ArchiCAD. Para fins mais realistas do mercado de trabalho, também foi feita uma comparação usando o salário piso de um arquiteto com regime de 8 horas diárias (BRASIL, 1966).

### **3.2.8 Comparação dos resultados: tempo, precisão e custos**

#### *3.2.8.1 Levantamento em campo*

A fim de comparar o tempo gasto nos levantamentos através dos métodos tradicional e em BIM com nuvem de pontos, foram feitas tabelas no software Excel com os dados de tempo que foram anotados no levantamento convencional e dados de tempo capturados pelo equipamento *laser scanner* disponíveis em uma plataforma online da FARO, a FARO Box.

Para a comparação de precisão, foi feita uma tabela no software Excel com os dados de 4 áreas do objeto de estudo. Os dados referentes ao levantamento tradicional foram obtidos no “.dwg” já pronto do *as built* e os dados do levantamento com *laser scanner* foram aferidos na plataforma FARO Box, que possui uma planta baixa da varredura completa conforme a Figura 21. Para as medidas vindas da plataforma da FARO, foi necessário usar um conversor online de medidas, de pés para metros.

Na comparação de custos, para o método tradicional utilizou-se o piso de um salário de um Engenheiro Civil com regime de 8 horas diárias e uma média salarial de um estagiário com regime de 30 horas semanais em Florianópolis, SC. Já para o método que utiliza o *laser scanner*, foi utilizado o valor de um dia de serviço de um profissional habilitado a utilizar o equipamento, bem como o valor do aluguel, que foram relatados pelo colaborador da FARO.

#### *3.2.8.2 Modelagem*

Para poder ser feita a comparação das modelagens, para o método tradicional foi adaptado o projeto bidimensional original para o *as built* no AutoCAD e, em seguida modelado em 3D com o software ArchiCAD. Para o método inovador, foram utilizadas as cenas capturadas com o equipamento *laser scanner* para criar-se a nuvem de pontos consolidada e poder, então, fazer a modelagem 3D em cima dela.

Os tempos de trabalho de ambos os métodos, bem como as medidas lineares e de áreas foram obtidas e colocadas em uma tabela do Microsoft Excel para fins de comparação.

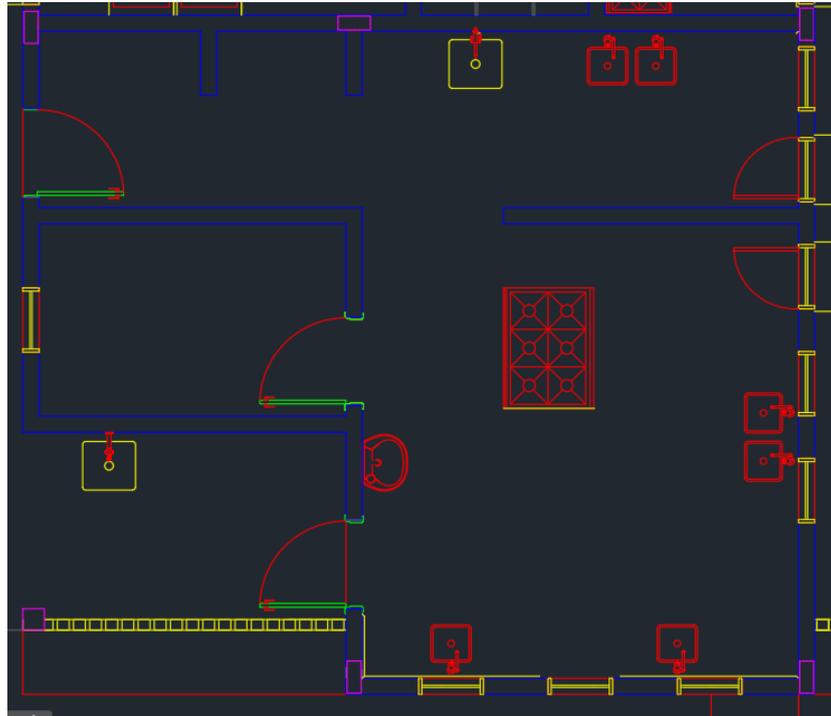
## 4 RESULTADOS

### 4.1.1 Levantamento de informações de forma tradicional

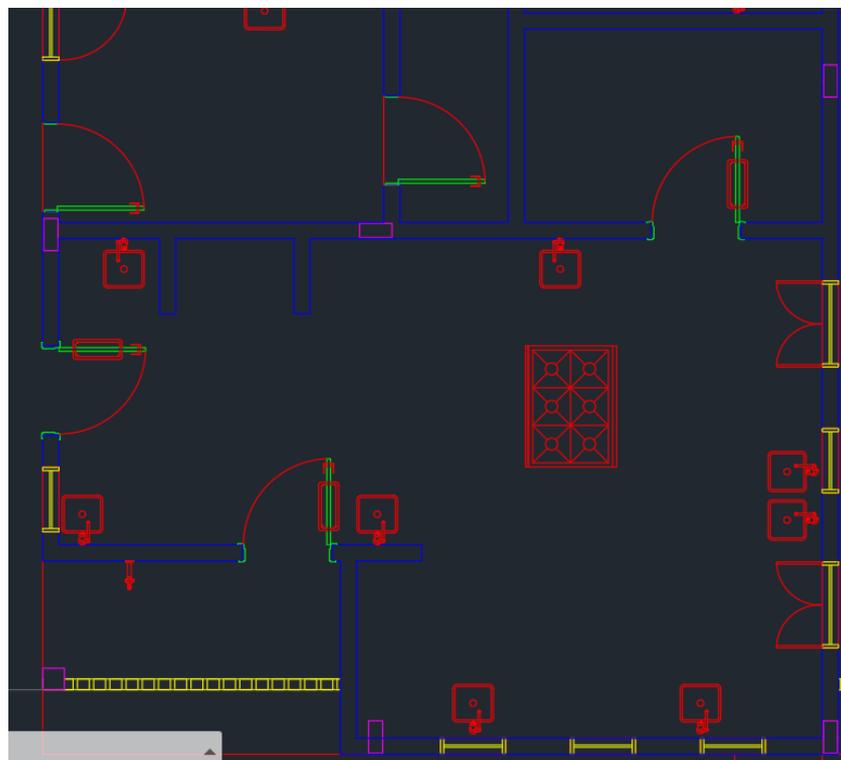
O resultado do levantamento através do método tradicional, com trena laser e trena comum, está representado no arquivo “.dwg”, apresentado no Apêndice B como imagem, com as devidas medidas e itens do escopo como construído e com o arquitetônico, hidrossanitário e elétrico compatibilizados. Após, fez-se o modelo tridimensional do projeto arquitetônico *as built* no ArchiCAD a fim de compará-lo com o modelo BIM gerado através da nuvem de pontos.

Antes da comparação entre os dois métodos, primeiramente é importante confrontar o projeto original e o projeto *as built* desenhados no AutoCAD, pois isso influencia diretamente no tempo gasto. Para isso, pode-se observar a cozinha da creche, por exemplo, ilustrada na Figura 27 originalmente e na Figura 28, após a aferição das medidas in loco. Esta área em questão foi uma das que mais apresentou divergência em relação ao projeto original, pois como se observa nas Figura 27 e Figura 28, o depósito encontra-se em uma posição completamente diferente, há uma divisão no original, que não existe no como construído, além de diferenças em posicionamentos de janelas e portas. Essas incoerências levam a medidas diferentes da área e de medidas lineares da cozinha, que no projeto original tem 6,03m de ponta a ponta e no *as built* 4,65m. Esses fatores levam a um aumento de tempo do profissional na etapa de levantamentos, caso esteja utilizando como base a planta original, forçando-o a desenhar um croqui a parte. Nota-se, portanto, uma ausência de fiscalização na execução da obra, pois há diferenças significativas entre a execução e o projeto licitado.

Figura 27 - Cozinha no projeto original



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 28 - Cozinha no projeto *as built*

Fonte: Acervo próprio (2020)

Como resultado do levantamento, tem-se também os croquis e anotações, que estão no Apêndice C.

É importante destacar que, para o levantamento do projeto hidrossanitário e do elétrico, houve dificuldades que os tornaram imprecisos, diferentemente do arquitetônico, cuja precisão é bem satisfatória, ficando na casa dos milímetros. Os fatores que levaram a essa menor confiabilidade dos projetos complementares foram:

- Impossibilidade de aferir partes internas das paredes e dos pisos para averiguar os dutos, tubos e cabos;
- Má instalação das lâmpadas, que estavam tortas e instaladas de forma não padronizada;
- Difícil acesso aos registros devido a obstruções e alturas;
- Difícil acesso as instalações de água fria e esgoto devido a obstruções;
- Inconsistência nos materiais utilizados. Por exemplo, ralos muito diferentes uns dos outros.

#### **4.1.2 Levantamento de informações com *laser scanner***

O resultado do levantamento da creche com o equipamento *laser scanner* gerou uma série de arquivos, as chamadas cenas, que foram então unidas para gerar a nuvem de pontos e o modelo BIM. A seguir, tem-se as Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 que mostram algumas capturas do *laser scanner* neste dia de levantamento, bem como a Figura 33 que ilustra a nuvem de pontos criada a partir das cenas obtidas pelo equipamento.

Figura 29 – Imagem do dia de levantamento com *laser scanner*



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 30 - Imagem do dia de levantamento com *laser scanner*



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 31 - Imagem do dia de levantamento com *laser scanner*



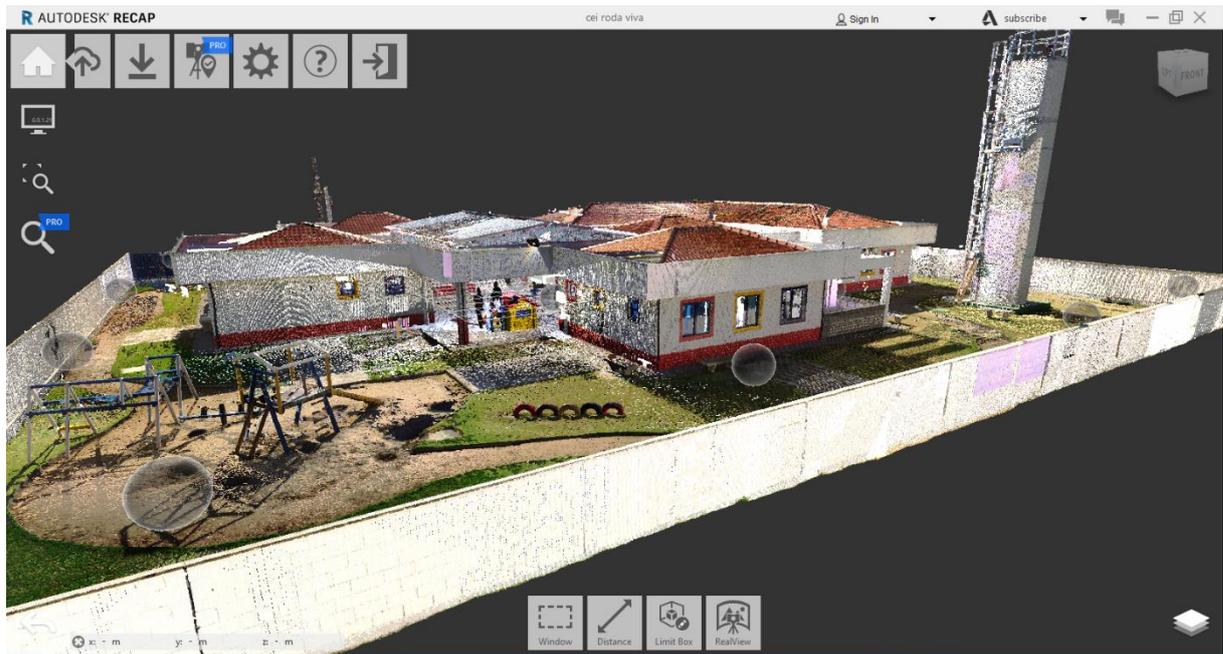
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 32 - Imagem do dia de levantamento com *laser scanner*



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 33 - Nuvem de pontos da CEI Roda Viva na plataforma Autodesk RECAP

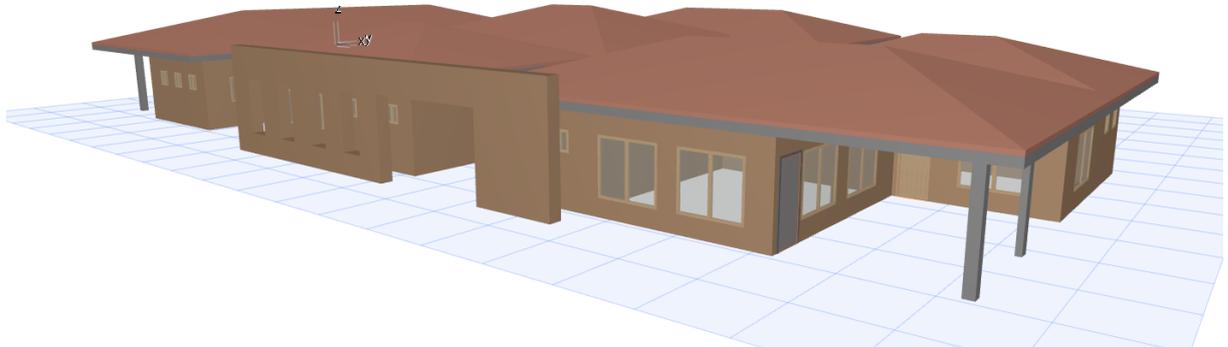


Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.3 Modelagem do *as built* sobre o projeto bidimensional

A Figura 34 contempla o modelo tridimensional do *as built* feito no software ArchiCAD da Graphisoft. Para o modelo, foi considerado apenas o projeto arquitetônico e, como a ideia deste trabalho era de recriar o modelo da creche de forma genérica para comparações de precisão das medidas, de tempo gasto e dos custos, não foram levadas em consideração as camadas internas das paredes, como emboço e chapisco, ou as aparências e cores da edificação. Observa-se, ainda, que as coberturas apresentadas no modelo final são apenas para fins estéticos de apresentação deste TCC e não refletem as coberturas reais do objeto de estudo.

Figura 34 – Modelo sobre o projeto bidimensional

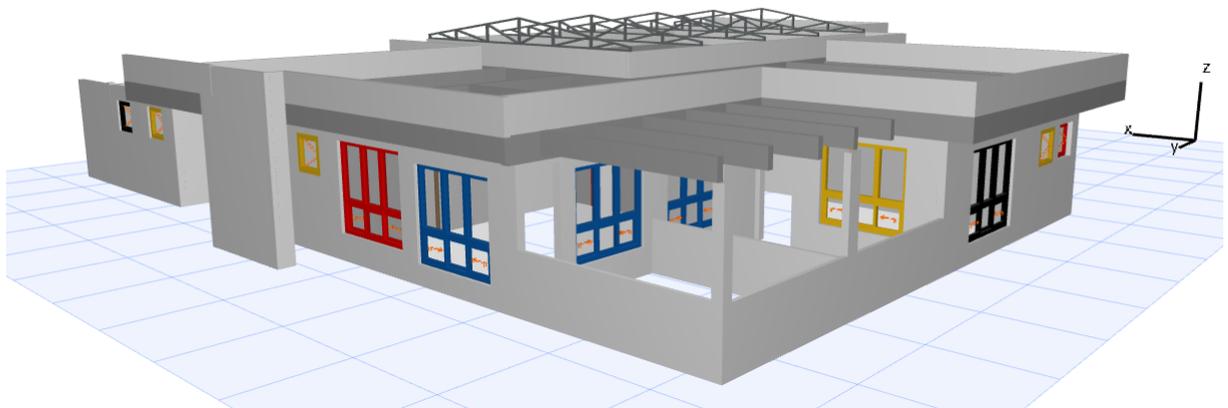


Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.4 Modelagem BIM sobre nuvem de pontos

A Figura 35 contempla o modelo BIM sobre a nuvem de pontos do *as built* feito no software ArchiCAD da Graphisoft. Para o modelo, foi considerado apenas o projeto arquitetônico. Acrescenta-se, ainda, que o modelo BIM sobre a nuvem de pontos não foi totalmente finalizado a tempo de ser incluído neste TCC, no entanto, foi realizado o suficiente para serem feitas as comparações.

Figura 35 - Modelo BIM sobre a nuvem de pontos



Fonte: Universidade Federal de Santa Catarina (2020)

#### 4.1.5 Tempo do levantamento e da modelagem do *as built* tradicional

A Tabela 2 traz os tempos de levantamento em campo pelo método tradicional.

Tabela 2 – Tempos do levantamento do *as built* tradicional em campo

Tempo de levantamento tradicional em campo		
Área	Tempo (hr:min)	Nº Pessoas
BWC 1	00:54	2
BWC 3	00:15	2
BWC 6	00:15	2
BWC 7	00:18	2
Copa	00:35	2
Cozinha e Depósito 4	00:53	2
Depósito 1	00:14	2
Depósito 2	00:10	2
Depósito diretoria	00:03	2
GT1 + Sala Soneca+ Sala Banho	01:30	2
GT2 + Varandas	00:30	2
GT3	00:56	2
GT4	00:33	2
GT5	01:04	2
Lavanderia e Depósito 3	00:09	2
Diretoria	00:09	2
Varandas da GT3 e GT4	00:05	2
Total	08:33	2

Fonte: Acervo próprio (2020)

Para a modelagem, a Tabela 3 traz os tempos de desenho do *as built* no AutoCAD, que contemplou todos os projetos, e o tempo de modelagem, que contemplou o arquitetônico.

Tabela 3 – Tempo de desenho e modelagem tradicional

Tempo desenho e modelagem tradicional			
Etapa	Projeto	Tempo (hr:min)	Nº Pessoas
Desenho no AutoCAD	Arquitetônico	03:22	1
	Elétrico	01:47	1
	Hidrossanitário	00:44	1
	Compatibilização	00:10	1
Modelagem no ArchiCAD	Arquitetônico	02:40	1
Total		08:43	1

Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.6 Tempo do levantamento e da modelagem sobre a nuvem de pontos

A Tabela 4 mostra os tempos de levantamento com o equipamento de *laser scanner*.

Tabela 4 - Tempos do levantamento com equipamento *laser scanner* em campo

Tempo de levantamento Laser Scanner em campo		
Área	Tempo (hr:min:seg)	Nº Pessoas
BWC 1	00:05:12	1
BWC 2	00:05:12	1
BWC 3	00:05:12	1
BWC 4	00:05:12	1
BWC 5	00:07:48	1
BWC 6	00:07:48	1
BWC 7	00:07:48	1
Caixa d'água	00:06:00	1
Copa	00:05:12	1
Cozinha e Depósito 4	00:13:00	1
Depósito 1 (GT5)	00:02:36	1
Depósito 2	00:05:12	1
Depósito Diretoria	00:02:36	1
Diretoria	00:05:12	1
GT1 + Sala Soneca + Sala Banho	00:10:24	1
GT2 + Varandas	00:13:00	1
GT3	00:05:12	1
GT4	00:05:12	1
GT5	00:05:12	1
Lavanderia e Depósito 3	00:05:12	1
Sala dos funcionários	00:05:12	1
Servidor PC	00:02:36	1
Varandas GT3 e GT4	00:05:12	1
Área externa	01:30:56	1
Total	03:52:08	1

Fonte: Acervo próprio (2020)

A Tabela 5 mostra o tempo de modelagem BIM com nuvem de pontos total, considerando o tempo efetivo e de espera. Segundo a bolsista do projeto de extensão, aproximadamente 60% das 216 horas totais de levantamento foram ocupadas aguardando o processamento do software, ou seja, houve uma perda de cerca de 130 horas, impactando profundamente no tempo. Por esse motivo, o tempo efetivo foi de 86 horas.

Tabela 5 – Tempo de modelagem BIM sobre nuvem de pontos

Tempo modelagem BIM com nuvem de pontos			
Etapa	Projeto	Tempo	Nº Pessoas
Tempo Efetivo	Arquitetônico	86 h	1
Tempo espera		130 h	1
Total		216 h	1

Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.7 Estimativa dos custos envolvidos em cada levantamento

Para o levantamento tradicional, considerando o salário de dois dias de trabalho de um Engenheiro Civil e um estagiário, bem como o custo das trenas laser e convencional, ter-se-ia um custo total de R\$1.728,41. Por outro lado, para o levantamento com o equipamento *laser scanner* o custo seria de R\$4.000,00, incluindo o valor do profissional e do equipamento.

Para os custos de modelagem do levantamento tradicional, utilizou-se o mesmo valor de um estagiário em Engenharia Civil, de R\$1.000,00. Já para da modelagem BIM sobre a nuvem de pontos, utilizou-se o valor de uma bolsa de graduação da UFSC vigente em março de 2020, de R\$ 420,00, pois o modelo foi criado por uma bolsista.

#### 4.1.8 Comparação e discussão dos resultados

Dadas as imprecisões do hidrossanitário e do elétrico, e visto que a modelagem BIM da nuvem de pontos não levou em consideração esses projetos complementares, a comparação da modelagem tridimensional levou em conta apenas o projeto arquitetônico. No entanto, as comparações de tempo, precisão e custo do levantamento utilizando o método tradicional e o com *laser scanner* levaram em conta todos os projetos.

##### 4.1.8.1 Levantamento em campo

###### 4.1.8.1.1 Tempo

A Tabela 2 traz os tempos de levantamento em campo através do método tradicional, assim como a Tabela 4 mostra os tempos de levantamento com o equipamento de *laser scanner*. Nota-se que com o *laser scanner* foi possível levantar mais áreas. Isso se deve ao fato de que no dia em questão todas as salas, sem exceção, estavam abertas, o que não ocorreu nos outros

dois dias de levantamento convencional, com trena laser e trena comum. Além disso, a caixa d'água e as áreas externas foram capturadas apenas pelo equipamento de *laser scanner*, com objetivo de pegar a nuvem de pontos da cobertura do objeto de estudo e o contorno da edificação através das áreas externas.

Por esse motivo, para se fazer a comparação direta, foi feita a Tabela 6, que contempla todas as áreas levantadas em ambos os métodos. Com isso, consegue-se observar que através do método *as built* tradicional levaram-se 8 horas e 33 minutos para levantar a mesma área que o método *as built* com modelagem BIM sobre nuvem de pontos, através do equipamento *laser scanner*, que levou pouco menos de uma hora e 50 minutos. Salienta-se que, a fim de ter uma comparação mais direta, esses tempos levam em consideração apenas o tempo de trabalho, sem deslocamentos, instalação de equipamentos ou intervalos. Portanto, em termos de tempo para este caso em estudo, o levantamento utilizando equipamento *laser scanner* consegue levar cerca de 79% menos tempo do que o levantamento com trena laser e convencional.

Tabela 6 - Comparativo entre o tempo de levantamento entre ambos os métodos

Tempo de levantamento em campo		
Área	Tradicional (hr:min:seg)	Laser Scanner (hr:min:seg)
BWC 1	00:54:00	00:05:12
BWC 3	00:15:00	00:05:12
BWC 6	00:15:00	00:07:48
BWC 7	00:18:00	00:07:48
Copa	00:35:00	00:05:12
Cozinha e Depósito 4	00:53:00	00:13:00
Depósito 1 (GT5)	00:14:00	00:02:36
Depósito 2	00:10:00	00:05:12
Depósito Diretoria	00:03:00	00:02:36
Diretoria	00:09:00	00:05:12
GT1 + Sala Soneca + Sala Banho	01:30:00	00:10:24
GT2 + Varandas	00:30:00	00:13:00
GT3	00:56:00	00:05:12
GT4	00:33:00	00:05:12
GT5	01:04:00	00:05:12
Lavanderia e Depósito 3	00:09:00	00:05:12
Varandas GT3 e GT4	00:05:00	00:05:12
Total	08:33:00	01:49:12

Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.8.1.2 Precisão

Para comparar a precisão dos levantamentos, foram utilizadas algumas medidas de locais específicos de ambos os levantamentos, as quais foram retiradas do projeto bidimensional “.cad” para o método tradicional, e das cenas disponíveis no site da FARO Box para o método com *laser scanner*. Foram escolhidos os itens a seguir:

- Medida longitudinal da sala GT3
- Medida longitudinal do BWC 3
- Medida longitudinal da Sala Soneca
- Medida transversal da cozinha

A comparação entre as medidas encontra-se na Tabela 7, e as Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39, ilustram os locais escolhidos. Através dos resultados obtidos, percebe-se uma diferença de 1 cm na sala GT3, 4 cm no BWC 3, na Sala Soneca e na Cozinha. Salienta-se que, nas figuras, a medida convencional extraída do AutoCAD está em metros e a retirada do FARO Box está em pés. Por esse motivo, foi usada uma ferramenta de conversão de pés para metros do Google.

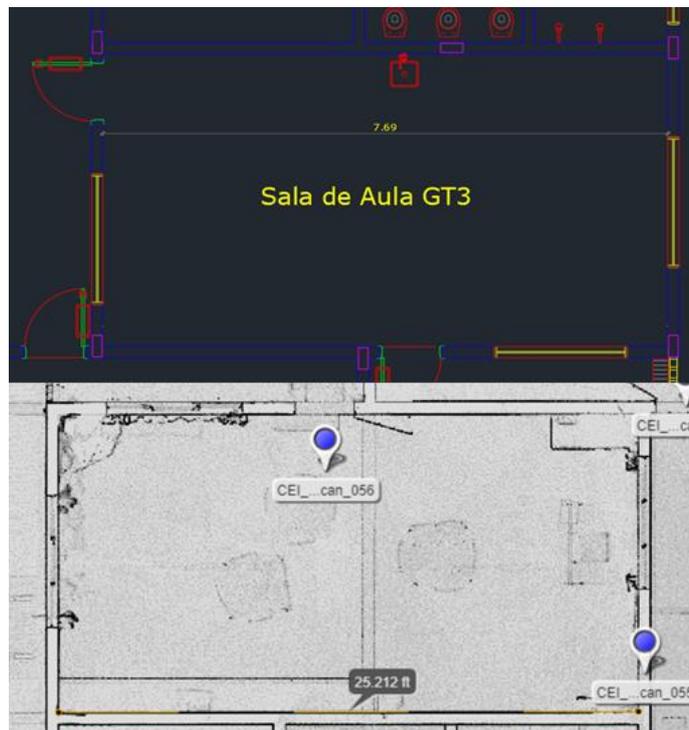
Devido à sabida precisão do equipamento *laser scanner* de 1 mm para distâncias lineares (FARO BROCHURE, 2017), e a precisão da trena laser de 1,5 mm, mas que pode variar devido ao posicionamento do equipamento pelo usuário, pode-se concluir que os valores encontrados na nuvem de pontos são mais exatos e retratam melhor a realidade. No entanto, a diferença de precisão das duas modelagens não invalida o método tradicional, o qual apresentou bons resultados nesta pesquisa.

Tabela 7 – Medidas lineares do levantamento em campo

Medidas lineares do levantamento em campo			
Áreas	Convencional (m)	Laser Scanner (m)	Diferença (cm)
GT3	7,69	7,68	1
BWC 3	2,26	2,22	4
Sala Soneca	4,74	4,78	4
Cozinha	4,64	4,60	4

Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 36 – Medidas da sala de aula GT3 no “.dwg” e no FARO Box



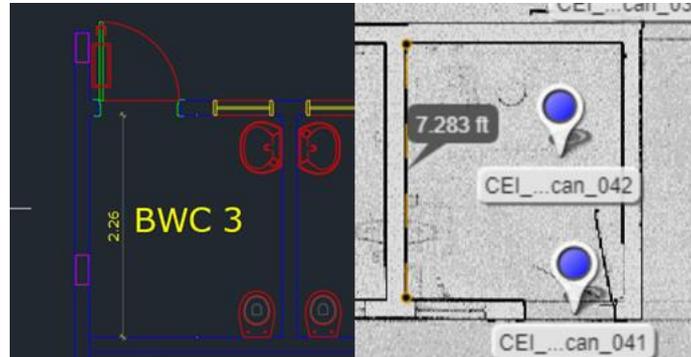
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 37 – Medidas sala soneca no “.dwg” e no FARO Box



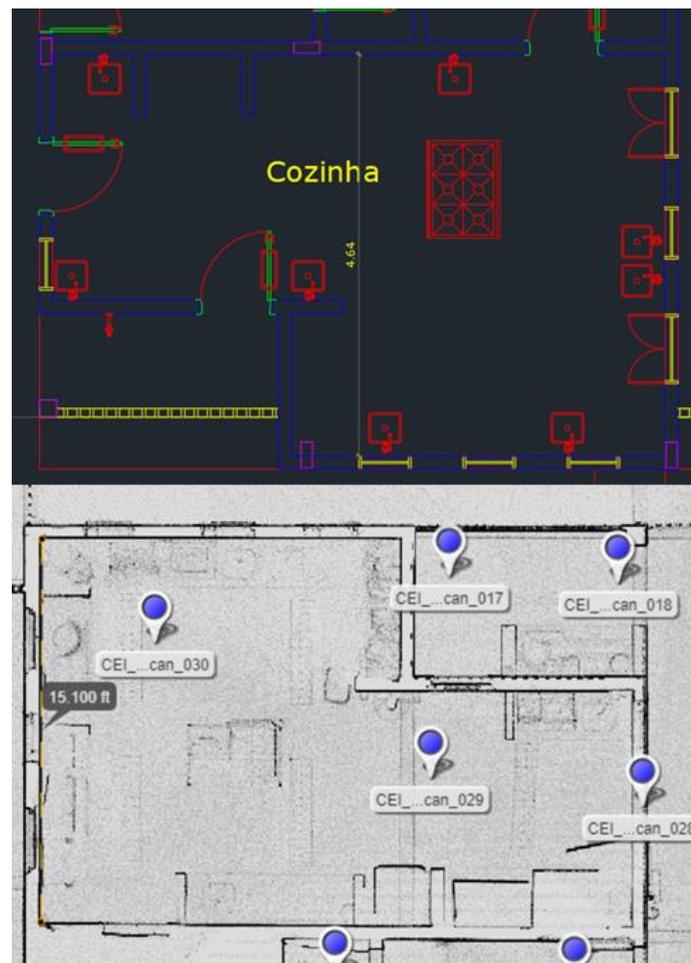
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 38 – Medidas do banheiro BWC3 no “.dwg” e no FARO Box



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 39 – Medidas da cozinha no “.dwg” e no FARO Box



Fonte: Acervo próprio (2020)

#### 4.1.8.1.3 Simulações de Custos para o Caso em Estudo

Para fazer uma simulação e comparação de custos de levantamento, utilizou-se um salário piso de um Engenheiro Civil com regime de 8h diárias (BRASIL, 1966) e um salário médio de um estagiário com regime de 30h semanais para a grande Florianópolis (GLASSDOOR, 2020) para o levantamento tradicional. Para o levantamento com *laser scanner* foi considerado um salário de um profissional que trabalha com o *laser scanner*, bem como o custo de aluguel do equipamento por um dia de trabalho. A Tabela 8 - Custos do levantamento de campo traz os valores e a Tabela 9, o comparativo.

Tabela 8 - Custos do levantamento de campo

Período	Custos do levantamento em campo	
Mês	Engenheiro Civil	R\$8.882,50
Mês	Estagiário Engenharia Civil	R\$1.000,00
1ª Compra	Trena laser e convencional	R\$415,00
Diária	Profissional e aluguel <i>Laser Scanner</i>	R\$4.000,00

Fonte: Acervo próprio (2020)

Tabela 9 - Comparativo de custos de 1 dia de trabalho

Custo aproximado	Comparativo custos do levantamento em campo	
Diária	Engenheiro Civil e Estagiário	R\$864,20
Diária	Profissional e aluguel <i>Laser Scanner</i>	R\$4.000,00

Fonte: Acervo próprio (2020)

Portanto, o custo de um dia de trabalho de um profissional com o equipamento *laser scanner* custa cerca de 78% a mais que um dia de trabalho do Engenheiro Civil juntamente do estagiário, com uma trena laser e uma trena comum. Considerando que foram necessários dois dias de trabalho para levantar o objeto de estudo de forma tradicional e um para o levantamento com o *laser scanner*, o segundo é cerca de 57% mais custoso que o primeiro.

#### 4.1.8.2 Modelagem

##### 4.1.8.2.1 Tempo

Pelo fato de a modelagem em BIM conter mais informações do que a modelagem tradicional BIM e ainda exigir um hardware muito mais poderoso e um profissional com qualificações mais específicas, conseqüentemente seu tempo de desenvolvimento foi superior. Isso é embasado pelos números das

Tabela 3 e Tabela 5, onde pode-se observar que a modelagem BIM sobre a nuvem de pontos levou aproximadamente 90% a mais de tempo. Contudo, a modelagem feita pela bolsista do projeto não foi 100% finalizada na presente data deste TCC, apenas 2/3 de sua totalidade, o que implica em um número ainda mais elevado. Considerando 2/3 do tempo de modelagem sobre o projeto bidimensional, tem-se cerca de 93% a mais de tempo para a modelagem BIM sobre a nuvem de pontos neste trabalho.

Com a difusão do método da nuvem de pontos, um hardware melhor e um profissional com bastante experiência neste trabalho, é possível que essa diferença de tempo seja menor, quiçá igual se considerarmos ambas as modelagens em BIM.

Ainda segundo Castro (2019), o esforço e custo iniciais para se criar um modelo BIM é muito maior, no entanto, o ganho posterior justifica e ultrapassa a perda inicial, justificando o investimento com ganhos de custos e tempo, além de uma maior qualidade final. (CASTRO, 2019)

##### 4.1.8.2.2 Precisão

Para comparar a precisão entre o resultado das duas modelagens, foram utilizadas algumas medidas de locais específicos de ambos os modelos. Foram escolhidos os itens a seguir:

- Medida longitudinal e área da sala GT3;
- Medida longitudinal e área da Diretoria;
- Medida longitudinal e área da Sala Soneca;
- Medida transversal e área da sala GT2.

A comparação entre as medidas encontra-se na Tabela 10, e as Figura 40, Figura 41, Figura 42 e Figura 43, ilustram os locais escolhidos, sendo a parte de cima, ou da esquerda, da

modelagem do método tradicional e a de baixo, ou da direita, da modelagem BIM sobre a nuvem de pontos. Através dos resultados obtidos, percebe-se uma diferença de distâncias de 1 cm na sala GT3, 4 cm na Diretoria e na Sala Soneca e 0 cm na sala GT2. A diferença em m<sup>2</sup> entre as áreas das duas modelagens também ficou relativamente baixa.

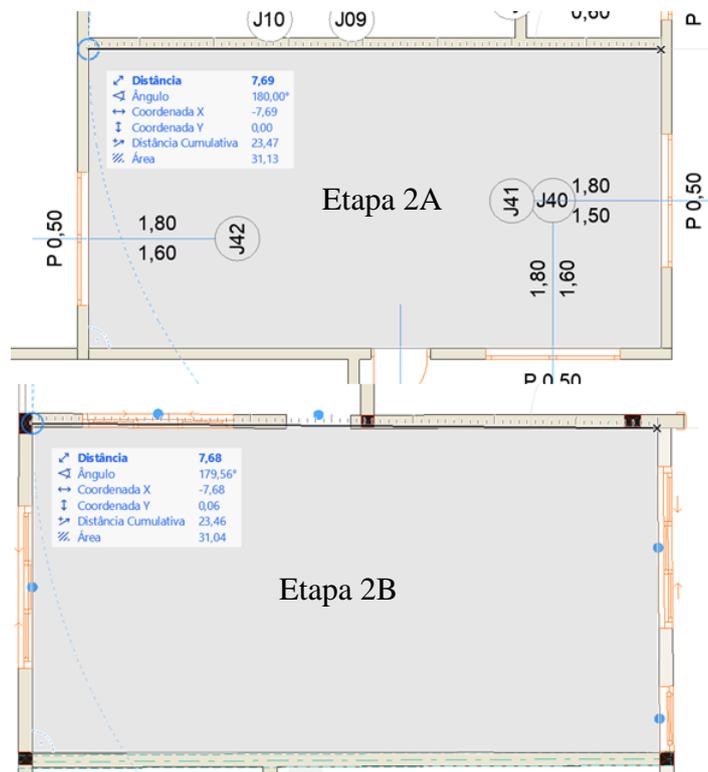
Devido à sabida precisão do equipamento *laser scanner* de 1 mm para distâncias lineares (FARO BROCHURE, 2017), e a precisão da trena laser de 1,5 mm (STANLEY, 2020), mas que pode variar devido ao posicionamento do equipamento pelo usuário, pode-se concluir que os valores encontrados na modelagem BIM sobre a nuvem de pontos são mais exatas e retratam melhor a realidade. No entanto, a diferença de precisão das duas modelagens não invalida o método tradicional, o qual apresentou bons resultados nesta pesquisa.

Tabela 10 – Medida das áreas das modelagens

Medidas das áreas das modelagens				
Áreas	Etapa 2A - Sobre projeto bidimensional		Etapa 2B - BIM sobre nuvem de pontos	
	Distância(m)	Área(m <sup>2</sup> )	Distância(m)	Área(m <sup>2</sup> )
GT3	7,69	31,13	7,68	31,04
Diretoria	4,65	16,04	4,68	16,27
Sala Soneca	4,74	10,66	4,79	10,64
GT2	5,26	33,96	5,26	34,01

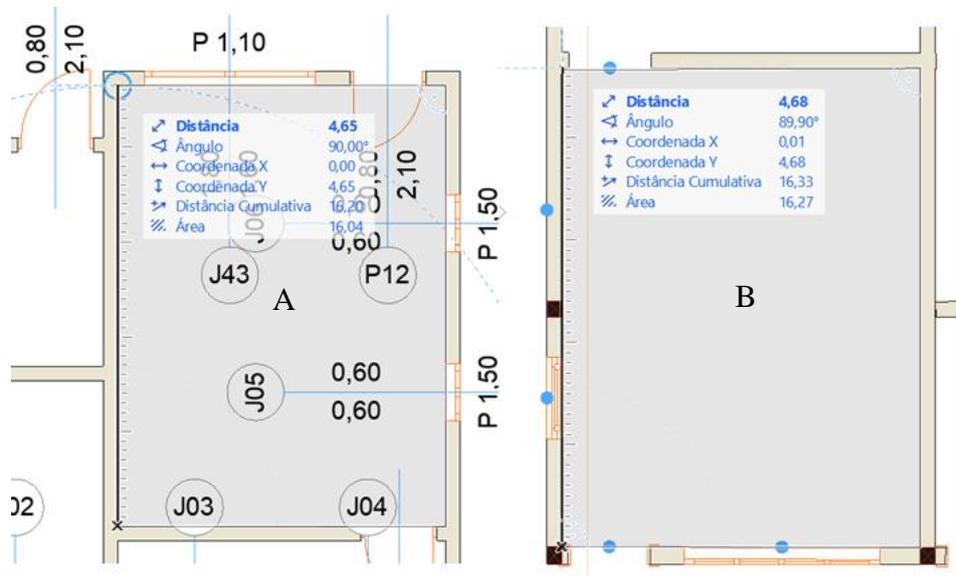
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 40 – Medidas sala de aula GT3 em ambas as modelagens



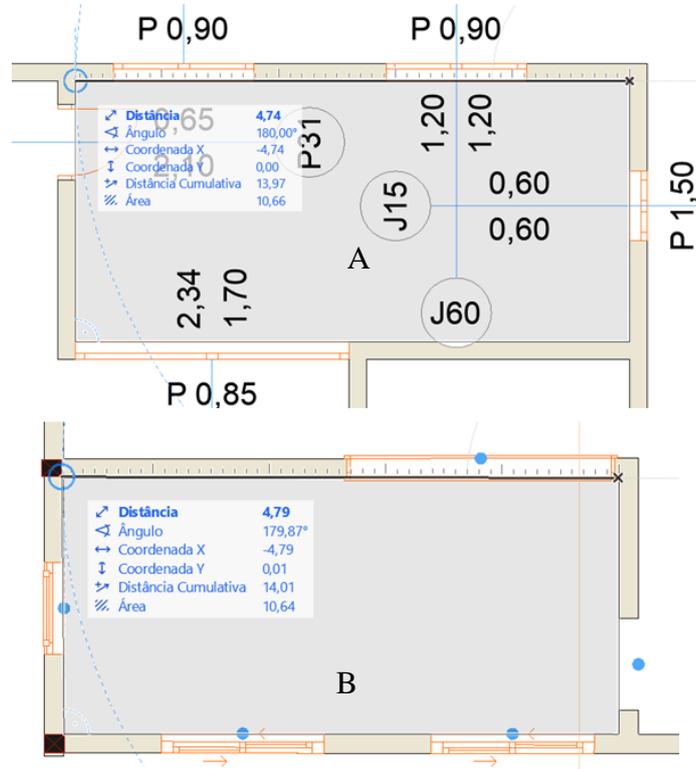
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 41 – Medidas Diretoria em ambas as modelagens



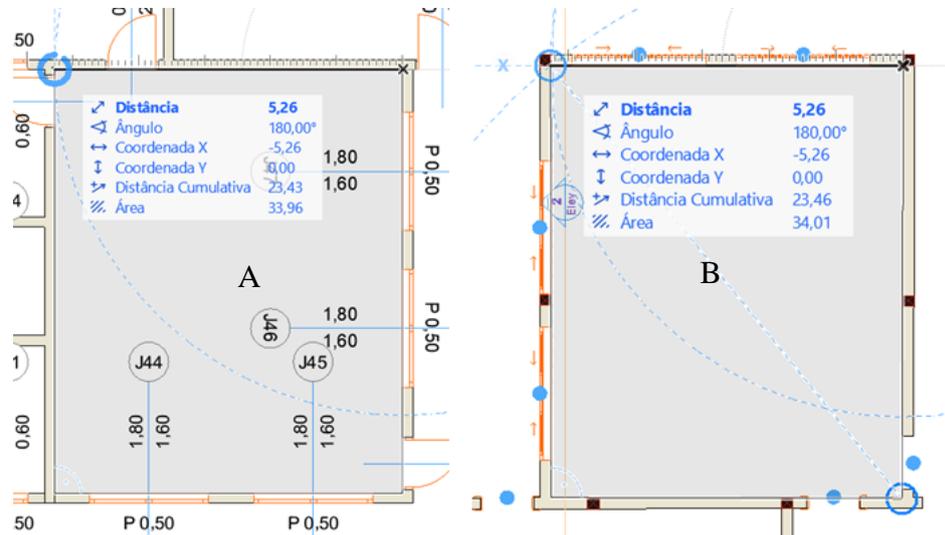
Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 42 – Medidas sala soneca em ambas as modelagens



Fonte: Acervo próprio (2020)

Figura 43 – Medidas sala de aula GT2 em ambas as modelagens



Fonte: Acervo próprio (2020)

Uma segunda análise de precisão pôde ser feita comparando ambas as modelagens. Na Figura 44, percebe-se que há uma diferença de ângulo entre os resultados do método tradicional (representado pela cor vermelha) e do método inovador (representado pela cor branca), pois no primeiro é sempre considerado um ângulo de 90° entre as paredes, simplificando o desenho. No

entanto, na prática as paredes não ficam perfeitamente perpendiculares entre si ou a execução difere da angulação adotada em projeto. Essa imperfeição na angulação é possível de ser capturada através do *laser scanner* e, então, modelada conforme o construído. Tal característica confere uma precisão maior à modelagem BIM sobre a nuvem de pontos, com a finalidade de *as built*.

Figura 44 - Comparação direta da precisão angular de ambas as modelagens



Fonte: Acervo próprio

#### 4.1.8.2.3 Simulações de Custos para o Caso em Estudo

Para fazer a comparação de custos de modelagem, utilizou-se o salário médio de um estagiário de Engenharia Civil com regime de 30h semanais para a grande Florianópolis (GLASSDOOR, 2020) para a modelagem do levantamento tradicional, e o valor de uma bolsa de graduação da UFSC vigente em março de 2020 para os custos da modelagem BIM sobre a nuvem de pontos. Todos os valores estão na Tabela 11. Além disso, o custo da modelagem foi proporcional a quantidade de horas trabalhadas em ambos os métodos e seu valor está representado na última coluna da Tabela 11.

Tabela 11 – Custos de modelagem de ambos os métodos

Custos modelagem			
Método	Modelador BIM	Custo/mês	Custo Modelagem
Tradicional	Estágio - Engenheiro Civil	R\$1.000,00	R\$ 91,00
BIM sobre nuvem de pontos	Bolsista UFSC	R\$420,00	R\$420,00

Fonte: Acervo próprio (2020)

Portanto, tem-se que o custo da modelagem BIM sobre a nuvem de pontos deste trabalho foi 78% maior que o da modelagem pelo método tradicional. Salienta-se que, assim como no tempo gasto da modelagem, o valor do custo considerando um profissional mais qualificado da área de modelagem BIM sobre a nuvem de pontos, pode ser maior. No entanto, o valor de um profissional para a modelagem do método tradicional também poderia ser mais caro. Por esse motivo, apenas para se ter uma comparação mais condizente com o mercado de trabalho, é importante mencionar que o custo de ambas as modelagens iria depender do valor/hora de um profissional especializado, seja Engenheiro ou Arquiteto, mais o custo das licenças do software ArchiCAD. Nesse caso, o valor da modelagem em BIM sobre a nuvem de pontos provavelmente se tornaria mais caro, devido ao maior nível de especialidade, ao fato de ser uma inovação, ao hardware mais exigente e ao custo extra de softwares necessários para manipular a nuvem de pontos.

## 4.1.8.3 Tabela Síntese dos resultados

Tabela 12 - Síntese dos resultados

Etapa	Método	Tempo (hr:min:seg)	Precisão linear	Custos (R\$)
Levantamento em campo	Tradicional	08:33:00	1,5 mm*	Diária: 864,20
	Laser Scanner	01:49:12	1 mm	Diária: 4.000,00
Modelagem	Vínculo CAD	08:43:00**	1,5 mm*	91,00**
	Vínculo nuvem de pontos	86:00:00**	1 mm	420,00**

\* Pode variar muito com o posicionamento do equipamento pelo usuário

\*\* Valores simulados apenas para este TCC

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

## 5 CONCLUSÃO

O levantamento em campo foi a etapa mais condizente com o mercado de trabalho, pois, no método com *laser scanner*, teve a participação de um profissional que de fato atua com a prestação de serviços de levantamento *as built*, e no método tradicional, refletiu bastante a realidade com duas pessoas experientes em levantamentos *as built* com trena laser e convencional. Além disso, em ambos os métodos os tempos foram rigorosamente aferidos, o que conferiu uma grande precisão nos dados.

Portanto, pode-se afirmar empiricamente que, na etapa de levantamento, o *laser scanner* provou-se 79% mais produtivo e com uma precisão maior, aliado a um acréscimo no custo de 57% quando comparado com o método tradicional. Além disso, este equipamento consegue captar não apenas o arquitetônico com suas cores e detalhes de forma precisa, mas todos os projetos complementares que estiverem à vista também, conferindo a este método uma enorme vantagem. Esses resultados indicam que, dependendo da necessidade de tempo e de precisão do *as built*, convém sim contratar um serviço de levantamento com *laser scanner*. Destaca-se que, além da precisão e da rapidez no levantamento usando o *laser scanner*, outra vantagem diz respeito ao banco de dados de informações sobre a obra construída, que pode ser utilizado futuramente para manutenções, para controle de operações e uso da edificação, dentre outros benefícios, que justificam seu uso apesar do custo mais caro quando comparado com o levantamento tradicional.

A etapa de modelagem consistiu em resultados específicos para este trabalho e menos condizentes com a realidade do mercado de trabalho, pois no mercado haverá profissionais mais experientes, hardwares melhores e custos atrelados ao uso dos softwares, os quais não foram contabilizados neste trabalho devido à aplicação estudantil. No entanto, para criar-se uma melhor ideia em uma aplicação real e ajudar no embasamento da escolha de um dos métodos, foram simulados os custos envolvidos para esta pesquisa. Salienta-se, todavia, que apenas a comparação de precisão linear que se manteve a mesma, visto que a origem das medidas vem da etapa de levantamento.

Portanto, ao analisar os dados e os resultados da etapa de modelagem, percebe-se que, neste trabalho, a modelagem BIM necessitou 93% mais tempo sobre a nuvem de pontos, teve uma melhor precisão e obteve um custo 78% maior.

Ao imaginar uma situação mais real do mercado de trabalho, chegou-se à conclusão de que o valor da modelagem em BIM sobre a nuvem de pontos provavelmente sairia mais cara,

devido ao maior nível de especialidade, ao fato de ser uma inovação, ao hardware mais exigente e ao custo extra de softwares necessários para manipular a nuvem de pontos. A precisão manter-se-ia maior, devido ao fato de ela estar atrelada ao levantamento e, finalmente, o tempo iria depender do grau de especialidade do profissional, porém, considerando profissionais com o mesmo nível de habilidade em ambas as modelagens, atingir-se-ia um tempo parecido. O custo pode ser um fator determinante para a contratação ou não deste tipo de serviço, porém, cabe destacar que a tecnologia existe e está em constante atualização e, pelos resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se que é válido obter os dados precisos de uma edificação existente sobre uma nuvem de pontos, pois há aumento na qualidade da informação, com precisão e a rapidez no processo.

Contudo, os dados de levantamento deste trabalho são mais conclusivos do que os de modelagem, entretanto, em ambas as etapas e métodos, percebeu-se uma maior conveniência e precisão no uso do equipamento de *laser scanner*. Considerando o mesmo nível de habilidade dos profissionais em seus respectivos métodos, resta a quem interessar contratar um deles, decidir entre o método tradicional, com uma menor precisão, menor custo e maior tempo gasto, ou o método BIM sobre a nuvem de pontos, com uma maior precisão, maior custo e menos tempo gasto, destacando ainda o banco de dados com informação qualificada para uso futuro.

Finalmente, sugere-se uma pesquisa futura que estude a etapa de modelagem, com adoção de nuvem de pontos, aplicada a novos estudos de casos, para comparar com os resultados obtidos nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ABUDAYYEH, Osama; AL-BATTINEH, Hussien T.. As-Built Information Model for Bridge Maintenance. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Michigan (DT), v. 17, n. 2, p. 105-112, abr./2003.

AKCAMETE, A. et al. Motivation for Computational Support for Updating Building Information Models (BIMs). **Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering**, v. 346, p. 523-532, jun./2009.

ALIZADEHSALEHI, Sepehr; KOSEOGLU, Ozan; CELIKAG, Murude. Integration of Building Information Modeling (BIM) and Laser Scanning in Construction Industry. **AEI Conference on Birth and Life of the Integrated Building**, Milwaukee (WI), p. 163-174, mar./2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784479070.015>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14645-1**: Elaboração do “como construído” (as built) para edificações Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m<sup>2</sup>, para fins de estudos, projetos e edificação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

AXELSSON; P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 33, n. 4, p. 110-117, mai./2000.

AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **American Society of Civil Engineers**, vol. 11, n. 3, p. 241-252, jul./2011. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

BAZJANAC, Vladimir. Virtual building environments (VBE)—Applying information modeling to buildings. **Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California**, Berkeley (CA), v. 4, n. 111, p. 111-111, jun./2004.

BEDIN, Carla. **Estratégias Para Inspeção do Estado de Conservação de Fachadas Com Uso De Rpas e Laser Scanner**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

BRASIL. Lei nº 4.950, de 22 de abril de 1966. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4950a.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4950a.htm)>. Acesso em: 27 de jul. de 2020.

BRILAKIS et al. Toward automated generation of parametric BIMs based on hybrid video and laser scanning data. **Advanced Engineering Informatics**, v. 24, n. 4, p. 456-465, jan./2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.006>

BRYDE, David; BROQUETAS, Martí; VOLM, Jürgen Marc. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 971-980, out./2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>

CASTRO, Li Chong Lee Bacelar de. **Aplicação do Building Information Modeling (Bim) em Projetos de Infraestrutura nas Fases Pre-Completion e/ou Post-Completion**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Políticas de Infraestrutura, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2019.

COSTA, Eduardo. **Dr. Eduardo Costa: Inovação e mercado**. 2013. (3m14s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=6Xc5NegvMVU>>. Acesso em: nov. 2019.

DODL, Luciano D'ávila. **Caderno De Boas Práticas Para As-Is Bim Usando Laser Scanner Faro e Revit**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

EADIE et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. **Automation in Construction**, vol. 36, p. 145–151, dez./2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2008.

ESCHMANN et al. Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. **European Workshop On Structural Health Monitoring**, Dresden, v. 2, p. 01 – 08, 2012

**FARO Brochure**, 2017. Disponível em: <<https://www.faro.com/en-gb/resource/faro-laser-scanner-focus-s-350-tech-sheet/>> Acesso em: 15 de nov. de 2019.

**GLASSDOOR**, 2020. Disponível em:

<[https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/florian%C3%B3polis-estagi%C3%A1rio-engenharia-civil-sal%C3%A1rio-SRCH\\_IL.0,13\\_IM1003\\_KO14,41.htm](https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/florian%C3%B3polis-estagi%C3%A1rio-engenharia-civil-sal%C3%A1rio-SRCH_IL.0,13_IM1003_KO14,41.htm)>. Acesso em: 26 de jul. de 2020.

GRANJA, Ariovaldo Denis. Inovação tecnológica na construção civil. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 252-254, dez./2015. ISSN 1980-6809. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v6i4.8644407>

GUNDAY et al. Effects of innovation types on firm performance. **International Journal of Production Economics**, Turquia, v. 133, n. 2, p. 662-676, out./2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.014>

WANG, H. Sensing Information Modelling for Smart City. **2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity)**, Chengdu, China, p. 40-45, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SmartCity.2015.44>.

HAJIAN, H.; BRANDON, G. As-Built Documentation of Structural Components for Reinforced Concrete Construction Quality Control with 3D Laser Scanning. **Computing in Civil Engineering**, Los Angeles (CA), v. 17, n. 20, p. 253-260, jun./2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784412343.0032>

HAJIAN, H.; BECERIK-GERBER, B.. Scan to BIM: factors affecting operational and computational errors and productivity loss. **Proceedings of the 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, Los Angeles (CA), v. 27, p. 265-272, jun./2010. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/ISARC2010/0028>

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R. W. **Administração da construção civil**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HO, Serene; RAJABIFARD, Abbas. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the BIM initiative in Singapore. **Land Use Policy**, Singapura, v. 57, n. 111, p. 1-10, nov./2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.05.011>

**INTRUSUL**, 2019. Disponível em: < <http://blog.instrusul.com.br/o-que-e-e-qual-melhor-trena-laser/>>. Acesso em: 26 de nov. de 2019.

**ITATIAIA**, 2019. Disponível em: < <https://itatiaia.eco.br/licenciamento-ambiental/drones-na-topografia-e-agrimensura-por-onde-comecar/>>. Acesso em: 26 de nov. de 2019.

KRAUS; PFEIFER. Advanced DTM generation from LIDAR data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Annapolis, MD, v. 34, n. 4, p. 22-24, jan./2001.

LOBANOVA, V. **Comparison of structural modeling in Open BIM Projects**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Civil And Construction Engineering, Saimaa University Of Applied Sciences, Saimaa, 2017.

MA, X. et al. Critical Strategies for Enhancing BIM Implementation in AEC Projects: Perspectives from Chinese Practitioners. **Journal of Construction Engineering and Management**, China, v. 146, n. 2, p. 1-10, fev./2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001748](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001748)

MARZOUK, Mohamed; OTHMAN, Ahmed. Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. **Sustainable Cities and Society**,

Egito, v. 57, n. 2020, p. 102-120, mar./2020. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120>

MASSA, S.; TESTA, S. Innovation and SMEs: Misaligned perspectives and goals among entrepreneurs, academics, and policy makers. **Technovation**, Genova, v. 28, n. 7, p. 393-407, jul./2008.

MCCUEN, T. L. Scheduling, Estimating, and BIM: a Profitable Combination. **AACE International Transactions**, Auburn (AL), p. 1-8, abr./2008.

MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. **The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling**. 2014. New York: McGraw-Hill Construction

MILL, Tarvo; ALT, Aivars; LIAS, Roode. Combined 3D building surveying techniques — terrestrial laser scanning (TLS) and total station surveying for BIM data management purposes. **Journal of Civil Engineering and Management**, Estônia, v. 19, n. 1, p. 23-32, jan./2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.795187>

NSC TOTAL, 2019. <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/equipamento-3d-vai-fiscalizar-obra-em-palhoca>> Acesso em: 30 de mai. de 2020

**OBSERVATÓRIO SOCIAL DA PALHOÇA**, 2019.

<<http://palhoca.osbrasil.org.br/metodologia-inedita-e-lancada-em-palhoca/>>. Acesso em: 30 de mai. de 2020.

**OBSERVATÓRIO SOCIAL DO BRASIL**. osbrasil, 2020. Disponível em: <<http://osbrasil.org.br/>>. Acesso em: 30 de mai. de 2020.

OLIVEIRA, Valeria Faria et al. **O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional**. Taubaté: UNINDU, 2012.

RANDALL; T. Construction Engineering Requirements for Integrating Laser Scanning Technology and Building Information Modeling. **Journal of Construction and Engineering Management ASCE**, São Francisco, CA, v. 137, n. 10, p. 799-805, out./2011. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000322](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000322)

ROSENBUSCH, Nina; BRINCKMANN, Jan; BAUSCH, Andreas. Is innovation always beneficial? A meta-analysis of the relationship between innovation and performance in SMEs. **Journal of Business Venturing**, Alemanha, v. 26, n. 4, p. 441-457, jul./2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2009.12.002>

SANTA CATARINA. Caderno de Apresentação de Projetos em BIM. SC: **Governo do Estado de Santa Catarina**, 2014. Disponível em: <https://www.saude.sc.gov.br/index.php/informacoes-gerais-documentos/projetos-e-obras-orientacoes/cadernos/8986-caderno-apresentacao-projetos-em-bim/file>

**STANLEY**, 2020. Disponível em:

<<https://www.stanleyworks.pt/products/detail/Produtos/FERRAMENTAS+MANUAIS+/Medi%C3%A7%C3%B5es+/Medi%C3%A7%C3%A3o+de+dist%C3%A2ncias+com+laser+/TLM+330>>. Acesso em: 26 de jul. de 2020.

TONDELO, Patricia Geittenes; BARTH, Fernando. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019009, fev. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652817>. Acesso em: 19 ago. 2020. doi: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>.

TZEDAKI; KAMARA. Capturing As-Built Information For a Bim Environment Using 3D Laser Scanner: A Process Model. **AEI 2013: Building Solutions for Architectural Engineering**, New Castle, p. 485-494, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784412909.047>

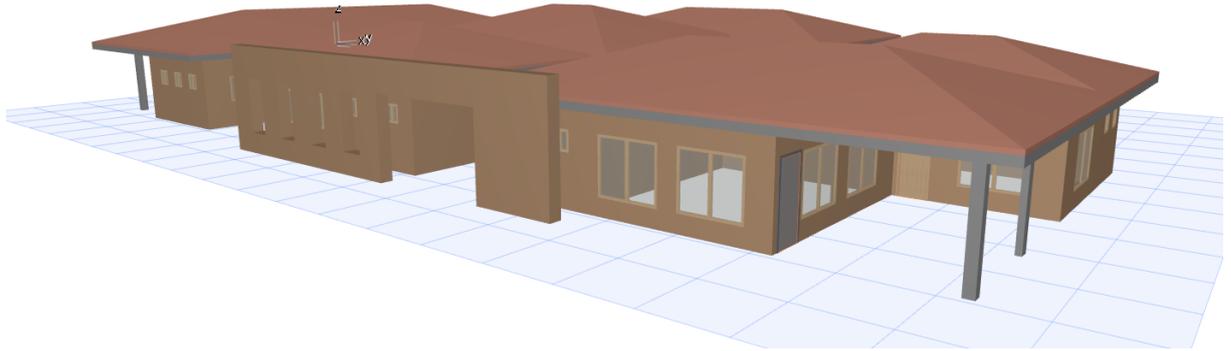
U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (GSA). **GSA building information modeling guide series 03: GSA BIM guide for 3D imaging**. Washington, DC, 2009.

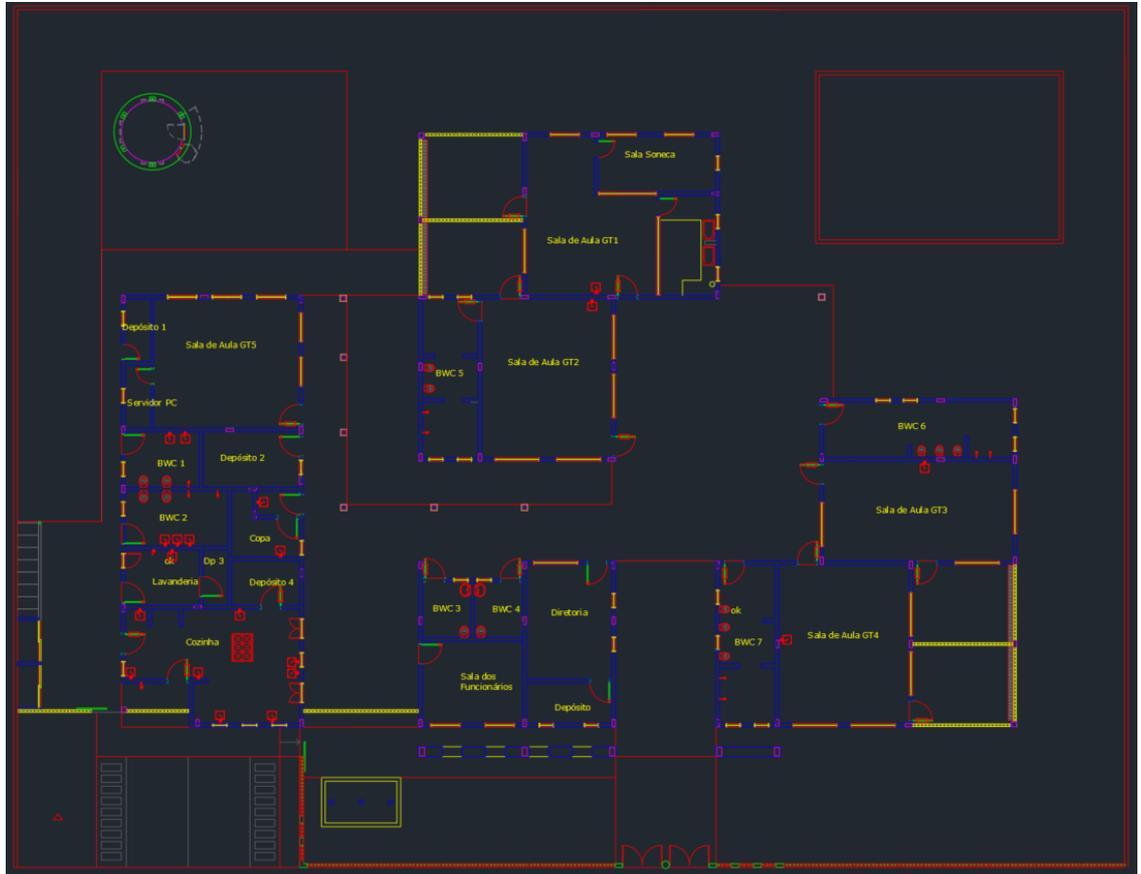
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Pró-reitoria de Extensão. Pró-reitoria de Extensão. Centro Tecnológico. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. **Digitalização de edifícios públicos**. Florianópolis, 2020. Sistema Integrado de Gerenciamento de Projetos de Pesquisa e de Extensão.

VALERO, E. et al. Detection, modeling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data. **Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, v. 16, n. 2, p. 546-551, jan./2011. Disponível em: <https://doi.org/10.22260/ISARC2011/0099>

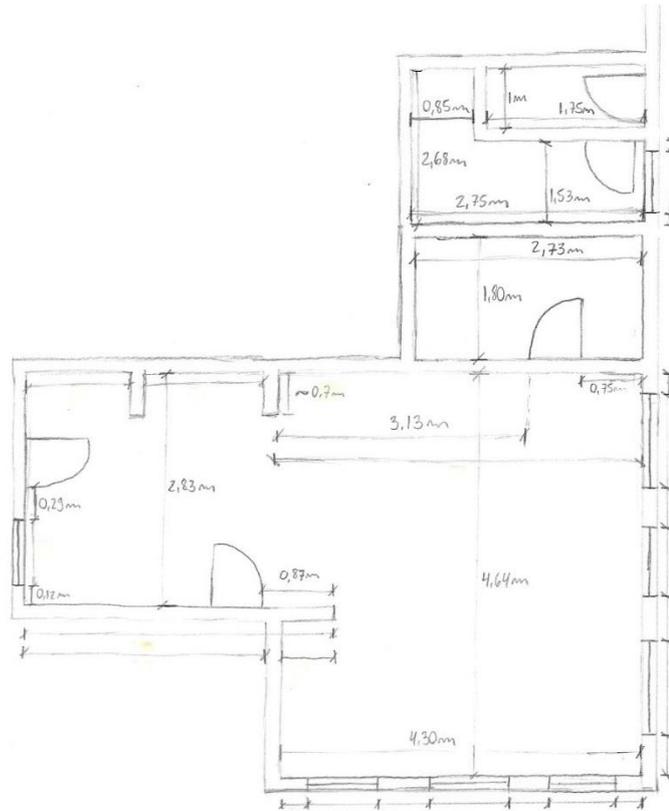
VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — **Literature review and future needs**. **Automation in Construction**, v. 38, n. 2014, p. 109-127, mar./2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>

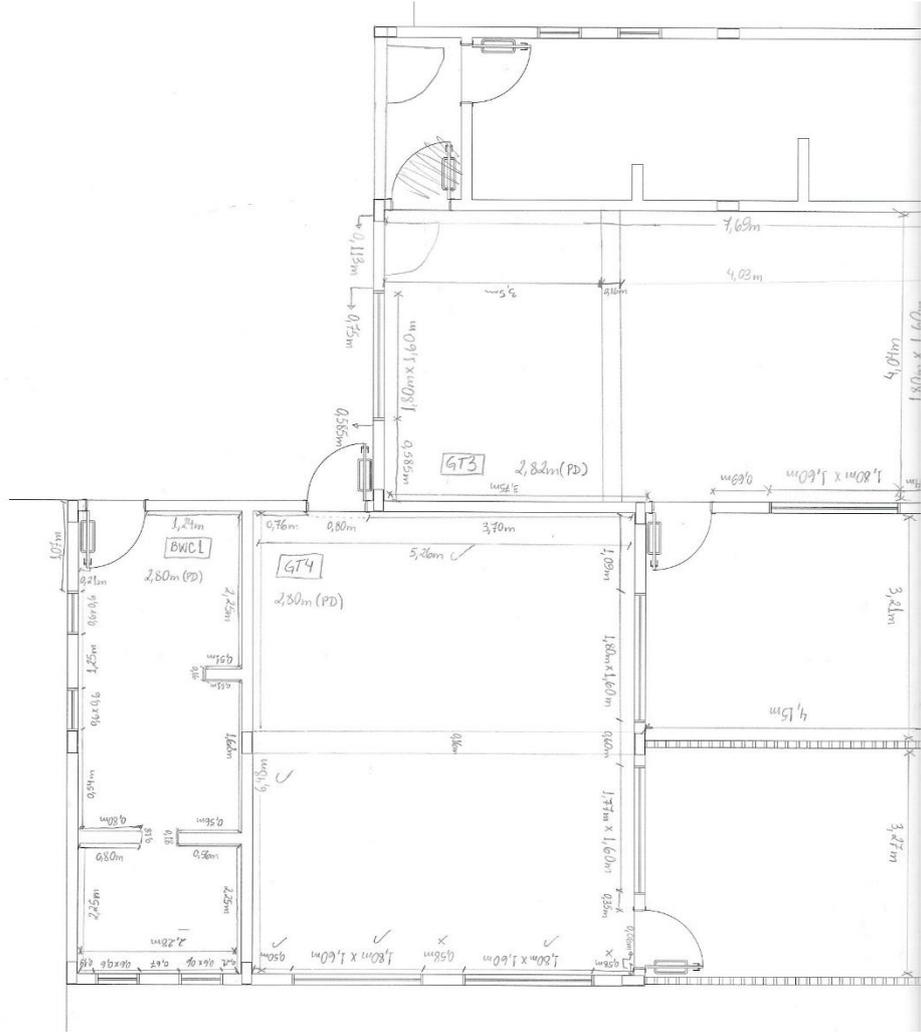
## APÊNDICE A – Modelo 3D método tradicional



**APÊNDICE B – Projeto As Built Bidimensional**

## APÊNDICE C – Croquis







## ANEXO A – Faro Box

Link para acesso ao escaneamento a laser da CEI Roda Viva, referente ao levantamento em campo utilizando um equipamento de *laser scanner* FARO FOCUS 350 s, em julho/2019.



**ANEXO B – Projeto Original em CAD**

