

EDUARDO ROCHA TAVARES

**ESCANEAMENTO A LASER EM EDIFÍCIOS NA ETAPA DA CONSTRUÇÃO
PARA MODELOS DA INFORMAÇÃO: PROCESSO, APLICAÇÕES E
RECOMENDAÇÕES**

São Paulo
2020

EDUARDO ROCHA TAVARES

**ESCANEAMENTO A LASER EM EDIFÍCIOS NA ETAPA DA CONSTRUÇÃO
PARA MODELOS DA INFORMAÇÃO: PROCESSO, APLICAÇÕES E
RECOMENDAÇÕES**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de pós-graduação
lato-sensu em Tecnologia e Gestão na
Produção de Edifícios

Orientador: MSc. Eng. Mauricio
Bernardes

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Tavares, Eduardo Rocha

ESCANEAMENTO A LASER EM EDIFÍCIOS NA ETAPA DA
CONSTRUÇÃO PARA MODELOS DA INFORMAÇÃO: PROCESSO, APLICAÇÕES
E RECOMENDAÇÕES / E. R. Tavares -- São Paulo, 2020.

100 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de
Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.TECNOLOGIA lidar 2.CONSTRUÇÃO civil 3.TECNOLOGIA da
informação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

Dedico este trabalho aos meus pais, Edval da Silva Tavares e Maria Aparecida Giglio Rocha Tavares, que em todo o curso do meu desenvolvimento pessoal e profissional me apoiaram e incentivaram a continuar estudando. À minha esposa Luanna Vieira Cabariti que me apoiou e, especialmente, me incentivou a desenvolver este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Maurício Bernardes, orientador deste trabalho, pelos excelentes *insights*, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho

Aos Professores Lúcio Soibelman, Luiz Henrique Ceotto e Fabiano Corrêa pelo tempo despendido em entrevistas, indispensáveis à composição do conteúdo deste trabalho.

Ao Luciano Santos por ter fornecido a demonstração do equipamento *Leica RTC360* que originou o estudo de caso do processo de escaneamento a *laser* apresentado neste trabalho.

A Isabella Giacomini pelo fornecimento de nuvens de pontos, fundamentais para a apresentação de estudo de caso, e licença de software que permitiu o aprofundamento de alguns tópicos deste trabalho.

Ao Arquiteto Francisco Spignardi e a Rocontec por terem cedido o espaço em obra para a realização das simulações com o equipamento de escaneamento a *laser*.

Ao Professor Rafael Rigoni pelo fornecimento de nuvens de pontos que auxiliaram o autor no embasamento da pesquisa.

“Any sufficiently advanced technology
is indistinguishable from magic”

Arthur Charles Clarke

RESUMO

O setor da Construção Civil, historicamente, apresenta taxas de crescimento inferiores às verificadas nas demais esferas da economia global, no entanto, pesquisas apontam o potencial e latente aumento da produtividade como alavanca para o crescimento desta indústria, sendo a adoção de inovações tecnológicas um dos principais recursos utilizados por outras áreas para a promoção de avanços relevantes neste quesito.

O presente trabalho consiste na apresentação de recomendações para a implementação da tecnologia de escaneamento a *laser* com integração ao BIM (Modelagem da Informação da Construção) sob a ótica do perfil dos profissionais envolvidos e das tecnologias disponíveis para a sua adoção.

Inicialmente, são apresentados os métodos de pesquisa do trabalho, incluindo aquele adotado para o estudo de caso do acompanhamento do processo de escaneamento a *laser*, que teve o objetivo de identificar os procedimentos adotados para o levantamento e compreender o grau de dificuldade das atividades envolvidas, assim como a pesquisa qualitativa baseada em entrevistas realizadas com profissionais e acadêmicos do setor da construção civil.

A pesquisa culminou no desenvolvimento de um conjunto de orientações para o uso da tecnologia que passam pela criação de procedimentos de adoção dela e capacitação dos profissionais envolvidos no processo, listagem de tecnologias necessárias para a completa implementação e métodos de execução.

Palavras-Chave: *BIM*. Modelagem da Informação da Construção. Nuvem de Pontos. Escaneamento a Laser.

ABSTRACT

Historically, the Civil Construction industry has lower growth rates than those observed in other areas of the global economy, however, studies indicate the potential and latent advancements in productivity as catalyst for the development of this industry, with the adoption of technological innovations being one of the main resources used by other areas to promote relevant advances in that matter.

The present work consists in the presentation of recommendations for the implementation of laser scanning technology integrated with BIM (Building Information modeling) regarding the technical and managing profiles of the professionals involved in the process and the technologies available for their adoption.

Initially, this study methods were presented, including the one implemented for the laser scanning process assessment case study, which objective was to identify the procedures adopted for the survey and to understand the level of effort of the tasks involved, as well as the qualitative research based on interviews with professionals and academics from the Civil Construction industry.

This study culminated in the development of a set of guidelines for the use of the laser scanning technology, which include the creation of procedures for its adoption and the training of professionals involved in the process, listing of technologies that are mandatory for the complete implementation and execution methods.

Keywords: *BIM. Building Information Modeling.* Point Cloud. Laser Scanning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - IVAN SUTHERLAND, PRECURSOR DO USO DE COMPUTADORES PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS, UTILIZANDO A FERRAMENTA DE DESENHO COMPUTACIONAL <i>SKETCHPAD</i> | 15 |
| FIGURA 2 – COMPUTADOR MODELO PDP-11 DA DIGITAL EQUIPMENT UTILIZADO PARA EXECUÇÃO DA FERRAMENTA BDS CONCEBIDA POR CHARLES EASTMAN..... | 16 |
| FIGURA 3 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA LIDAR BASEADA EM TEMPO DE VOO (DO INGLÊS TOF – <i>TIME OF FLIGHT</i>)..... | 21 |
| FIGURA 4 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA DE ESCANEAMENTO A LASER BASEADA EM DIFERENÇA DE FASE (DO INGLÊS <i>PHASE DIFFERENCE</i>) | 22 |
| FIGURA 5 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA WDM, QUE COMBINA OS PRINCÍPIOS DE TEMPO DE VOO E DIFERENÇA DE FASE | 23 |
| FIGURA 6 - EQUIPAMENTO DO TIPO CMM, FABRICADO PELA ZEISS | 24 |
| FIGURA 7 - IMAGEM TÉRMICA OBTIDA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE TERMOGRAFIA COM SOBREPOSIÇÃO À NUVEM DE PONTOS GERADA PELO ESCANEAMENTO A LASER (COSTANZO, MINASI, <i>ET AL.</i> , 2014)..... | 32 |
| FIGURA 8 – VISTA SUPERIOR DE UMA GARAGEM DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL NO FORMATO DE NUVEM DE PONTOS COM REPRESENTAÇÃO DE VARIAÇÃO CROMÁTICA BASEADA NA DIFERENÇA DE NÍVEL DA SUPERFÍCIE PARA VERIFICAÇÃO DE PLANICIDADE..... | 34 |
| FIGURA 9 - EMPREENDIMENTO AQWA CORPORATE DA TISHMAN SPEYER, LOCALIZADO NA REGIÃO DO PORTO MARAVILHA NO RIO DE JANEIRO, CUJA EXECUÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA FOI CONTROLADA COM ESCANEAMENTO A LASER | 37 |
| FIGURA 10 - EXEMPLO DE SUPERFÍCIES DE ELEMENTO ESTRUTURAL A SEREM CAPTURADAS | 39 |
| FIGURA 11 – CONTROLES NO EQUIPAMENTO DE ESCANEAMENTO A LASER PARA DEFINIÇÃO DA RESOLUÇÃO DA NUVEM DE PONTOS E OUTROS | 40 |
| FIGURA 12 - TABLET COM APLICAÇÃO PARA VISUALIZAÇÃO EM TEMPO REAL DO LEVANTAMENTO..... | 41 |
| FIGURA 13 - PLANTA GENÉRICA EXPLICATIVA PARA POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO. | 42 |
| FIGURA 14 – CORTE GENÉRICO EXPLICATIVO PARA POSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO E INDICAÇÃO DA VARREDURA DO AMBIENTE PELO LASER E OMISSÃO DE OBJETOS (TUBULAÇÃO INDICADA) EM VIRTUDE DA POSIÇÃO DO EQUIPAMENTO | 43 |

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 15 - POSICIONAMENTO INICIAL DO EQUIPAMENTO PARA O INÍCIO DO ESCANEAMENTO | 44 |
| FIGURA 16 - PROCESSO DE REGISTRO DAS CENAS NO CYCLONE REGISTER 360 | 45 |
| FIGURA 17 - PROCESSO DE AMARRAÇÃO DE UMA CENA A OUTRAS CENAS PARA GARANTIR A CONSISTÊNCIA DA NUVEM | 46 |
| FIGURA 18 - PROCESSO DE AMARRAÇÃO MANUAL <i>CLOUD TO CLOUD</i> | 47 |
| FIGURA 19 - ZONA DE SOMBRA GERADA PELO <i>LASER SCANNER</i> | 47 |
| FIGURA 20 - RELATÓRIO DE REGISTRO GERADO PELA FERRAMENTA CYCLONE REGISTER 360 | 48 |
| FIGURA 21 – PLANTA (PLANO HORIZONTAL TÉRREO) DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA USP COM A INDICAÇÃO DAS 46 CENAS OBTIDAS PARA GERAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS | 49 |
| FIGURA 22 - FACHADA DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP NO FORMATO DE NUVEM DE PONTOS COM DIFERENCIAÇÃO CROMÁTICA EM FUNÇÃO DA ELEVAÇÃO DE CADA PONTO | 50 |
| FIGURA 23 – FOTOGRAFIA DA VISTA EXTERNA DO EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP | 51 |
| FIGURA 24 - TRECHO DE UMA PLANTA DE UMA EDIFICAÇÃO MODELADA EM BIM COM SOBREPOSIÇÃO DA NUVEM DE PONTOS GERADA PARA O MESMO LOCAL COM AMPLA VISIBILIDADE DOS PONTOS | 59 |
| FIGURA 25 - TRECHO DE UMA PLANTA DE UMA EDIFICAÇÃO MODELADA EM BIM COM SOBREPOSIÇÃO DA NUVEM DE PONTOS GERADA PARA O MESMO LOCAL COM VISIBILIDADE DOS PONTOS REDUZIDA PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO | 59 |
| FIGURA 26 - POSICIONAMENTO DE <i>LASER SCANNER</i> EXTERNAMENTE | 62 |
| FIGURA 27 - DRONE COM ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> COM O LEICA BLK360 NO AUTODESK UNIVERSITY DE 2017 EM LAS VEGAS | 64 |
| FIGURA 28 - APRESENTAÇÃO DE DRONE EM MOVIMENTO COM ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> COM O LEICA BLK360 NO AUTODESK UNIVERSITY DE 2017 EM LAS VEGAS | 64 |
| FIGURA 29 – FLUXO DE FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO WEB, DE RASTREAMENTO DO PROGRESSO FÍSICO DE UMA CONSTRUÇÃO, DESENVOLVIDA PELA RECONSTRUCT INC | 66 |
| FIGURA 30 – SUGESTÃO DE SOLUÇÃO PARA POSSIBILITAR O ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> DE VIDROS | 67 |

FIGURA 31 - SIMULAÇÃO DE INSPEÇÃO VISUAL DE OBRA REALIZADO POR ROBÔ AUTÔNOMO DA EMPRESA NORTE-AMERICANA BOSTON ROBOTICS EM OBRA DA CONSTRUTORA TAKENAKA, NO JAPÃO..... 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BIM¹ | <i>Building Information Modeling</i> (Modelagem da Informação da Construção) |
| BIM² | <i>Building Information Model</i> (Modelo da Informação da Construção) |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| GNSS | Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegação por Satélite) |
| GPS | Global Positioning System (Sistema Global de Posicionamento) |
| IA | Inteligência Artificial |
| LiDAR | Light Detection And Ranging |
| LOD | Level of Detail |
| LOD | <i>Level of Detail / Level of Development</i> |
| MDIC | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior |
| OECD | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| RFDI | Radio Frequency Identification (Identificação por Radiofrequência) |
| ToF | <i>Time of Flight</i> (Tempo de Voo) |

SUMÁRIO

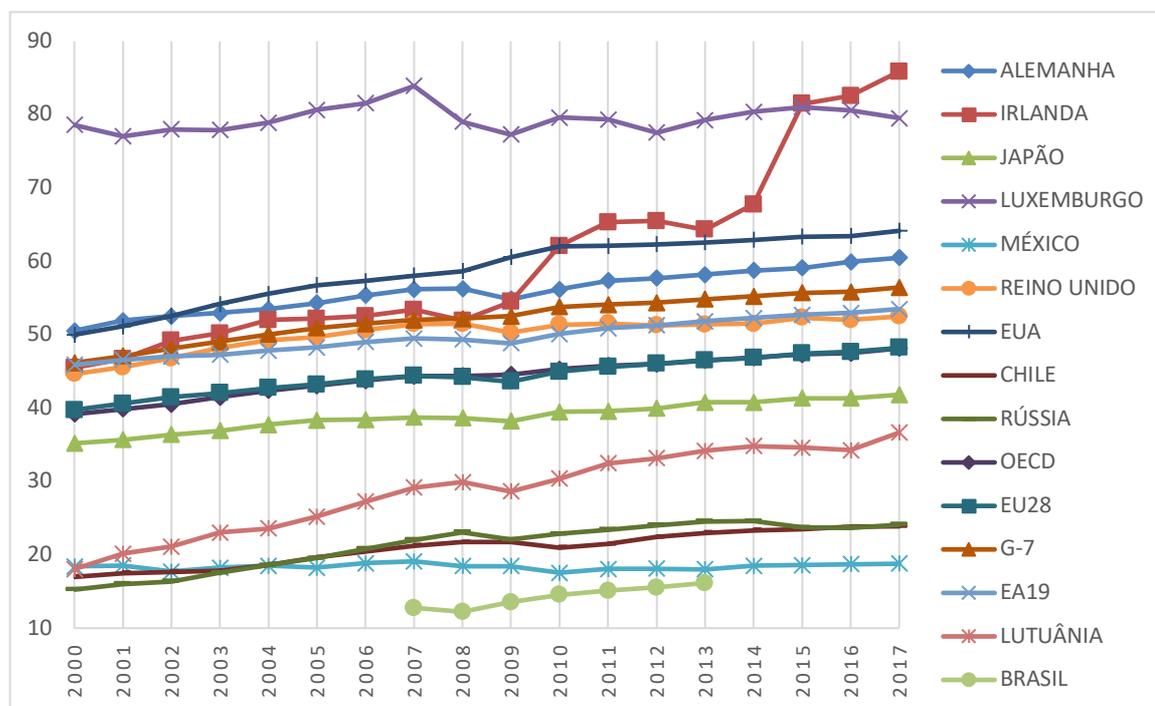
| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO NACIONAL..... | 10 |
| 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO | 11 |
| 1.3. METODOLOGIA DE PESQUISA | 11 |
| 2. PROCESSOS DE PROJETO: USO DE TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE MODELOS DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM) | 14 |
| 2.1. HISTÓRICO, CONCEITUAÇÃO E BENEFÍCIOS DO BIM | 14 |
| 2.2. HISTÓRICO DE IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA NO MUNDO | 18 |
| 2.3. USO DE MODELOS DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL | 19 |
| 2.4. INTERFACES DO <i>BIM</i> COM A ETAPA DE CONSTRUÇÃO | 20 |
| 3. <i>LASER SCANNING</i> – ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> | 21 |
| 3.1. CONCEITUAÇÃO E VARIAÇÕES DA TECNOLOGIA..... | 21 |
| 3.2. HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO..... | 24 |
| 3.3. CONTEXTO E VISÃO INTERNACIONAIS..... | 25 |
| 3.4. CONTEXTO E VISÃO NACIONAIS | 26 |
| 3.5. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA DE ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> | 27 |
| 3.5.1. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA PARA FINS DE RESTAURO E PRESERVAÇÃO PATRIMONIAL | 27 |
| 3.5.2. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO PARA FINS DE ATUALIZAÇÃO DO MODELO PARA O <i>AS-BUILT</i> | 28 |
| 3.5.3. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO EXISTENTE PARA FINS DE EXECUÇÃO DE NOVAS INTERVENÇÕES..... | 29 |
| 3.5.4. LEVANTAMENTO DE VOLUME DE TERRA DE ESCAVAÇÃO | 30 |
| 3.5.5. MAPEAMENTO DE FACHADA PARA DETECÇÃO DE PATOLOGIAS NA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS | 31 |
| 3.5.6. MAPEAMENTO DE PLANICIDADE EM LAJES DE CONCRETO MOLDADO <i>IN LOCO</i> | 33 |
| 3.5.7. CONTROLE DE PERDA INCORPORADA E DESVIOS GEOMÉTRICOS EM FACHADA..... | 35 |
| 4. ESTUDO DE CASO - INTEGRAÇÃO DO ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> COM O BIM – EXPERIÊNCIAS NACIONAIS..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 4.1. EDIFÍCIO COMERCIAL DE GRANDE PORTE NO RIO DE JANEIRO | 36 |
| 4.2. <i>RETROFIT</i> DE EDIFÍCIO COMERCIAL CONVERTIDO PARA HOSPITAL | 38 |
| 4.3. EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO | 48 |
| 5. RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE MODELAGEM E ESCANEAMENTO PARA A SUA EFETIVA INTEGRAÇÃO | 52 |
| 5.1. RECOMENDAÇÕES OPERACIONAIS..... | 52 |
| 5.2. TECNOLOGIAS NECESSÁRIAS PARA ADOÇÃO DO <i>LASER SCANNER</i> ... | 61 |
| 5.3. GERENCIAMENTO DE OBRAS COM APOIO DE ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> | 65 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 68 |
| 7. REFERÊNCIAS | 71 |

1. INTRODUÇÃO

A produtividade na Construção Civil tem apresentado índices de crescimento inferiores à média dos demais setores da economia com períodos de quase estagnação. Steven G. Allen, em publicação no *The MIT Press* no ano de 1985, já apontava taxas insatisfatórias de crescimento, (ALLEN, 1985) expondo um problema crônico da construção civil que acompanha o setor há décadas. A média mundial do PIB da economia geral por hora trabalhada, unidade de medida de produtividade, em 2017 foi de US\$ 48,14, de acordo com dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, (OECD, 2019), conforme pode ser observado na Gráfico 1. Em levantamento realizado por (GASPAR, 2017), a média do PIB por hora trabalhada do brasileiro entre 2007 e 2013 foi de USD14,27. Já o levantamento realizado pelo Conselho de Emprego e Relações do Trabalho da Fecomercio-SP apontou que o PIB brasileiro por hora trabalhada é de US\$ 16,75, ou 65% a menos do que a média mundial.

Gráfico 1 – PIB por hora trabalhada entre os anos de 2000 e 2017 de diferentes países (desenvolvidos e em desenvolvimento)



Fonte: adaptado pelo autor de <https://www.oecd.org/>

Observa-se a partir do Gráfico 1 que mesmo os países com os menores índices como Chile, com em torno de US\$ 20,00 e México, com em torno de US\$ 18,80, ambos em 2013 estavam melhores colocados do que o Brasil.

De todo o PIB mundial, 13% correspondem ao setor da construção civil, considerando todas as despesas direta ou indiretamente ligadas a esta indústria calcula-se que aproximadamente US\$ 1,6 trilhão poderia ser incorporado como valor à indústria com o aumento de produtividade, aponta estudo realizado pela McKinsey (BARBOSA, WOETZEL, *et al.*, 2017). Ainda segundo esse estudo, serão investidos US\$ 10 trilhões, mundialmente, na construção civil, em infraestrutura e em instalações industriais. Há ainda uma previsão de aumento em US\$ 4 trilhões de investimento dentro dos próximos 6 anos.

A economia mundial, entre 1995 e 2014, apresentou um incremento de 3,6% no PIB por hora trabalhada, ou 2,6% a mais do que o obtido pelo setor da construção civil, que atingiu o valor de 1% no mesmo período, (BARBOSA, WOETZEL, *et al.*, 2017). O resultado obtido por este estudo considerou o PIB por hora trabalhada de 41 países que representam 96% do PIB mundial com ajustes por deflatores específicos da pesquisa e levando em consideração a flutuação de preços, no entanto, fica evidente que a produtividade da indústria da construção civil precisa melhorar para alcançar a média dos outros setores da economia.

Uma das alternativas adotadas pelas outras indústrias e que promoveu mudanças importantes na produtividade foi a adoção de novas tecnologias, o que traria efeitos positivos à construção civil também. Segundo Sabbatini ao tratar de conceitos de inovação na construção civil, considerou que “a tecnologia construtiva é um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão deste modo de construir”, (SABBATINI, 1989). A partir disto, ainda segundo Sabbatini, a inovação tecnológica pode ser verificada com a aplicação de uma tecnologia de forma pioneira, independentemente da escala ou âmbito verificado, seja na escala global, no âmbito da economia como um todo, seja na escala local no âmbito de conhecimento tecnológico dentro de uma empresa.

A consultoria Ernest & Young (ZANCUL, VASSIMON, *et al.*, 2014), também discutiu o papel da inovação no aumento de produtividade na Construção, indicando que melhorias nesta métrica podem se dar por meio de diversas alavancas, como o

“planejamento da execução de empreendimentos” e “melhorias de projetos” sendo ambos impactados positivamente, de forma potencial, pela implementação de processos da Modelagem da Informação da Construção.

A Modelagem da Informação da Construção, BIM, é definida como sendo uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de edifícios (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2011). Eles prosseguem destacando que modelos de edifícios são caracterizados, essencialmente, por quatro aspectos, dos quais os autores selecionaram dois:

- Os componentes construtivos são representados digital e graficamente com a presença de atributos que os identificam como tal, sem que haja a necessidade de haver interpretação como ocorre no processo tradicional em CAD, em que o edifício é representado por vetores com estilos de linha.
- Ausência de redundância de informação gráfica ou de atributos uma vez que os dados que geram a representação digital do componente construtivo são únicos, sendo apenas apresentados de formas distintas conforme a necessidade do projetista.

Observa-se, portanto, que o processo de projeto em BIM prioriza a consistência dos dados e é possível estender esta percepção para todas as etapas de um projeto, inclusive a de levantamento cadastral, com diversos objetivos como o registro do estado real e atual de uma edificação, que tenha sofrido intervenções após a construção, para fins de operação e manutenção, levantamento de uma construção histórica para fins de restauro, entre muitos outros objetivos.

O processo tradicional de levantamento e registro manuais do estado real de uma construção consiste na obtenção das dimensões e formas dos elementos construtivos de maneira direta, seja com trenas e equipamentos de medição digitais ou não. Segundo (KLEIN, NAN e BECERIK-GERBER, 2011) este método envolve grande esforço e, conseqüentemente, muito tempo para a conclusão. Independentemente da tecnologia utilizada em um levantamento direto, com trenas a *laser* ou manuais, o método é basicamente o mesmo: cada dimensão é obtida individualmente e deve ser registrada uma a uma, seja em meio físico ou digital. O grau de detalhamento e precisão desta forma de levantamento depende de uma definição de escopo consistente em relação aos objetivos do contratante e de fatores

humanos ligados ao profissional responsável pelo levantamento, mas via de regra envolve riscos de inconformidades no levantamento em função do manuseio intensivo de dados.

Neste contexto, há diversas aplicações potenciais da tecnologia de escaneamento a *laser* no setor da Construção Civil, e que podem portanto contribuir com a redução de erros em medições, com o aumento da produtividade e com a conferência do ambiente construído face o projeto, dependendo da adoção de algumas recomendações para implementação da tecnologia, temas que serão explorados pelo autor no presente trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO NACIONAL

Em 2012, em torno de 97,5% das empresas do setor imobiliário tinham problemas relacionados a gestão de prazos e custo e, segundo o então vice-presidente e coordenador do Grupo de Gestão e Produtividade de Tecnologia e Qualidade do Sinduscon-SP, Francisco Vasconcellos, a tecnologia da informação seria um dos meios para melhoria da gestão nas empresas com a consequente potencialização dos ganhos em produtividade. A incorporação de processos da Modelagem da Informação da Construção e tecnologias inerentes a ela aos processos de gestão da construtora podem significar um “salto de melhoria e produtividade” (SINDUSCON-SP, 2015).

O início da década passada representou um período de investimentos em tecnologia por parte das empresas do setor porém com a recente crise, o mercado da construção civil, entre os anos de 2014 e 2018, sofreu uma redução acumulada de 28% no PIB do setor porém com previsão de retomada do crescimento no ano de 2019 para em torno de 2% (MARKO, 2019).

Atualmente são diversos os provedores de ferramentas computacionais, nacionais ou estrangeiras, capazes de se integrar a processos BIM, havendo ferramentas de projetos autorais, planejamento de prazo e custo, manutenção e facilidades, gestão da obra, gestão do projeto, dentre outras. No Brasil, a implementação do BIM em construtoras e empresas de projeto ainda é relativamente restrita, porém tem se disseminado nos últimos anos em virtude de diversos fatores como a maior disponibilidade de mão-de-obra capacitada, melhor consolidação no

mercado do conhecimento sobre o assunto, exigência de contratantes privados para uso do BIM, bem como com a instituição da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil com o decreto de número 9.377 de 17 de maio de 2018.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo geral: coletar e sistematizar as informações referentes ao uso da tecnologia de escaneamento a *laser* em edificações com o objetivo de verificar o modelo de informação da construção na etapa de execução da obra.

Objetivo específico: apresentar diretrizes para a utilização da tecnologia desde o planejamento da utilização do escaneamento a *laser* até a efetiva vinculação do produto (nuvem de pontos) ao modelo da informação da construção para a verificação do que tiver sido executado.

1.3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho é caracterizado como uma pesquisa qualitativa, com embasamento em entrevistas pessoais, disponíveis nos Apêndices deste trabalho, com profissionais selecionados e reconhecidos no mercado da construção civil e no meio acadêmico, e descritiva, com apoio em estudo de caso desenvolvido pelo autor bem como análise em casos reais do uso da tecnologia de escaneamento a *laser* a partir de material cedido por fabricantes dos equipamentos utilizados para geração das nuvens de pontos e por acadêmicos do setor.

Objetivando a essência das características de um estudo de caso consistente, este trabalho buscou estruturar a metodologia de pesquisa, levantamento e mapeamento dos dados conforme indicado neste capítulo. Esta estruturação foi concebida à luz das recomendações de Robert Yin (YIN, 2001) de modo que as evidências verificadas no estudo de caso foram analisadas em conjunto com a literatura específica e entrevistas com profissionais e acadêmicos do setor objetivando uma investigação por parte do autor acerca do tema abordado com a consolidação no capítulo 5 RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE MODELAGEM E ESCANEAMENTO PARA A SUA EFETIVA INTEGRAÇÃO.

Para a realização das entrevistas apresentadas neste trabalho, como parte da pesquisa qualitativa, o autor se fez valer das seguintes etapas:

- Desenvolvimento da entrevista: estudo da bibliografia existente para proposição das perguntas, bem como formatação e organização com uma sequência lógica para garantir fluidez da entrevista.
- Seleção dos entrevistados: o autor buscou selecionar profissionais do mercado da construção civil e ligados à tecnologia objeto do presente estudo, com participação efetiva em projetos com a aplicação da tecnologia de escaneamento a *laser* ou com reconhecido conhecimento da tecnologia.
- Realização de pré-teste do questionário para refinamento das questões que seriam apresentadas durante a entrevista objetivando a perfeita compreensão das perguntas por parte do entrevistado de modo a potencializar a qualidade das respostas.
- Realização da entrevista propriamente dita em ambiente controlado a fim de evitar distrações externas. As entrevistas foram integralmente registradas em áudio em meio digital, com o consentimento dos entrevistados, para posterior consulta do autor.
- Compilação das respostas e sua apresentação neste trabalho.

O processo de geração, tratamento, manipulação e consumo de uma nuvem de pontos a partir de um escaneamento a *laser* é composto por uma série de procedimentos que dependem de conhecimento técnico e específico. O autor, com o intuito de conhecer todas as etapas deste processo, participou de uma demonstração de equipamento de escaneamento a *laser* realizada por um fabricante internacional em uma obra predial comercial de construtora de atuação nacional com sede em São Paulo, com posterior acompanhamento das atividades de tratamento dos dados digitais coletados, também realizadas pelo fabricante do equipamento. As mencionadas etapas, seguidas dos respectivos procedimentos adotados pelo autor para coleta e registro dos dados e acontecimentos, são apontadas a seguir de forma abrangente, a serem detalhados nos resultados deste trabalho:

- Seleção do pavimento da edificação visitada a ser escaneado: premissa de ter sido concluída a execução da estrutura de concreto armado.
- Definição dos locais e realização do escaneamento.

- Tratamento e limpeza das nuvens de pontos.
- Constatação ou verificação das questões levantadas pela pesquisa.

Além do escaneamento a *laser* realizado em conjunto com o autor, outras nuvens de pontos foram cedidas para esta pesquisa. Os materiais analisados são: (1) a nuvem de pontos gerada a partir do escaneamento a *laser* da área externa ao edifício da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo para fins de modelagem em ferramenta autoral BIM pelos alunos da graduação, (2) a nuvem de pontos gerada a partir do escaneamento a *laser* de edifício comercial, com intervenção para execução de escritórios, com o intuito de obter a condição real da construção. Os seguintes procedimentos foram adotados para a análise deste material:

- Obtenção das nuvens de pontos e identificação dos formatos de arquivo
- Levantamento dos objetivos iniciais quando da realização do escaneamento a *laser*.
- Levantamento dos resultados obtidos pelos consumidores das nuvens de pontos e confrontação com a percepção e análise realizada pelo autor.

O trabalho está estruturado em 6 capítulos. O primeiro, INTRODUÇÃO, apresenta o tema ao leitor e apresenta também os objetivos e a metodologia empregados no desenvolvimento do trabalho. O segundo capítulo, PROCESSOS DE PROJETO: USO DE TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE MODELOS DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM), trata da apresentação dos conceitos de ferramentas e processos de projeto abordados aqui de modo a facilitar ao leitor a compreensão dos estudos de caso. O terceiro capítulo, LASER SCANNING – ESCANEAMENTO A LASER, permeia a teoria que envolve a tecnologia do escaneamento a *laser* com a apresentação do histórico, variações tecnológicas, aplicações possíveis e contexto internacional e nacional. O quarto capítulo, ESTUDO DE CASO - INTEGRAÇÃO DO ESCANEAMENTO A LASER COM O BIM – EXPERIÊNCIAS NACIONAIS, trata dos estudos de caso realizados pelo autor com o apoio de entrevistas com profissionais e acadêmicos. O quinto capítulo, RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE MODELAGEM E ESCANEAMENTO PARA A SUA EFETIVA INTEGRAÇÃO, aponta as recomendações para que o processo de modelagem e escaneamento a *laser* seja realizado de forma efetiva. O

quinto capítulo introduz o leitor as diretrizes e recomendações para integração do modelo da informação da construção e o escaneamento a *laser*.

2. PROCESSOS DE PROJETO: USO DE TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE MODELOS DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

2.1. HISTÓRICO, CONCEITUAÇÃO E BENEFÍCIOS DO BIM

A Modelagem da Informação da Construção, ou apenas BIM (*Building Information Modeling*, em inglês), conceitualmente, existe há décadas. Em relatório desenvolvido à unidade de pesquisas científicas da Força Aérea dos Estados Unidos em 1962, com o intuito de criar um projeto com estudos para promover a amplificação da eficácia intelectual do ser humano, Douglas Engelbart, apresenta exemplos de aplicação do computador para atingir tal objetivo. Em um dos exemplos, Engelbart propõe os conceitos iniciais de utilização de uma ferramenta computacional para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Nesta proposição, ele indica que o Arquiteto deveria informar ao computador as especificações dos elementos construtivos sendo propostos em projeto e esta é a essência do BIM: “... *the architect next begins to enter a series of specifications and data—a six-inch slab floor, twelve-inch concrete walls eight feet high within the excavation, and so on. When he has finished, the revised scene appears on the screen*”. Ele ainda continua a proposição e destaca que o computador seria capaz de apresentar ao usuário qualquer vista desejada por ele e esta característica é intrínseca ao BIM: “*Now he begins to enter detailed information about the interior. Here the capability of the "clerk" to show him any view he wants to examine (a slice of the interior, or how the structure would look from the roadway above) is important.*” (ENGELBART, 1962)

A primeira ferramenta computacional gráfica com possibilidade de interação humana foi o *SketchPad*, desenvolvida por Ivan Edward Sutherland no MIT (Instituto de Tecnologia de *Massachusetts*) em 1961 como tese de doutorado, e ela era baseada no conceito de Modelo-Visão-Controlador (*Model-View-Controller*) em que o usuário utilizava uma espécie de caneta como controlador para manipulação de um modelo exibido em uma tela. (AISH e BREDELLA, 2019) e (PYFER, 2019). Segundo Robert Aish, grande responsável pelo desenvolvimento de tecnologias

computacionais para Arquitetura nos anos 70 nos Estados Unidos, o surgimento de aplicações para desenho em 2D nesta década acabaram por democratizar esta tecnologia no setor porém com variações do conceito Modelo-Visão-Controlador, deturpando a ideia de desenho assistido por computador (CAD) e que havia sido implementada pelo *SketchPad*. O desenvolvimento de projetos baseados em desenhos em 2D desconexos entre si é fundamentado em um processo de trabalho que difere daquele que é demandado no desenvolvimento baseado em modelos e, conforme Aish, a medida em que uma tecnologia se torna popular ela acaba por institucionalizar um modelo de trabalho e, conseqüentemente, uma forma de se pensar projetos, (AISH e BREDELLA, 2019).

Figura 1 - Ivan Sutherland, precursor do uso de computadores para desenvolvimento de projetos, utilizando a ferramenta de desenho computacional *SketchPad*



Fonte: <https://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>

Com os avanços das pesquisas acadêmicas, foi concebido o termo “*Building Description System*” (ou Sistema de Descrição de Edifícios em tradução livre do autor), por um grupo, integrado por Charles Eastman, associado a Universidade de Carnegie-Mellon na década de 70. O BDS, desenvolvido naquela universidade, tinha como proposição a definição dos conceitos para a criação de ferramentas computacionais para o desenvolvimento de projetos de edificações. Dentre estes conceitos estavam a capacidade de desenvolvimento do projeto com a utilização de componentes tridimensionais para representação virtual dos elementos construtivos, a disponibilidade irrestrita e infinita de vistas do projeto como cortes, plantas e elevações, a possibilidade de armazenamento das especificações de todos os

elementos em um banco de dados, a existência de interatividade entre os elementos modelados, (EASTMAN, 1975).

Durante as décadas seguintes, diversas iniciativas surgiram no sentido de desenvolver novas ferramentas que pudessem fazer uso de recursos computacionais para o desenvolvimento de projetos.

Figura 2 – Computador modelo PDP-11 da Digital Equipment utilizado para execução da ferramenta BDS concebida por Charles Eastman



Fonte: <https://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/PDP-11.html>

Hoje fica evidente que o BDS foi o precursor das atuais ferramentas BIM. O BIM (*Building Information Modeling*, do inglês Modelagem da Informação da Construção) representa o vasto conjunto de processos e tecnologias voltado a criação, desenvolvimento e manipulação de um modelo tridimensional orientado a objeto e vinculado a um banco de dados que representa virtualmente as propriedades intrínsecas a um empreendimento e a todo o ciclo de vida dele. Em seu livro, (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2011) destaca que as soluções de modelagem que não podem ser classificadas como BIM geram apenas modelos tridimensionais não paramétricos e sem atributos, ou seja, contêm apenas representações geométricas estáticas, desvinculadas de um banco de dados e sem relacionamento entre as mais diversas formas de visualização que o representam, como plantas, cortes, elevações e perspectivas.

A Modelagem da Informação da Construção, do ponto de vista da inovação, proporciona o desenvolvimento, análise e obtenção de dados de projeto de uma edificação nas diversas fases do ciclo de vida de um empreendimento. O uso do BIM nas etapas de pré-construção, projeto, construção, fabricação e operação é apontado por Eastman, (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2011).

Em se tratando da pré-construção, o estudo de viabilidade econômica de um empreendimento baseado em um programa preliminar é fundamental para a verificação de aderência ao orçamento e prazo disponíveis. Esta etapa, caso seja demasiadamente extensa, tenderá a gerar desperdício em termos de tempo, esforços de recursos humanos e financeiros. Portanto, a utilização de um modelo da informação da construção aproximado e simplificado, porém vinculado a bancos de dados de custos preliminares, potencializa a precisão da estimativa nesta fase em comparação aos métodos tradicionais. Além disso, este modelo esquemático permite análises e simulações prévias para verificação de alternativas de projeto que possam impactar em prazos e custo.

Já em relação a etapa de projeto, são diversos os benefícios do uso de um modelo da informação da construção. Nas primeiras etapas do projeto já é possível ter a visualização tridimensional dele de forma mais precisa de modo a facilitar a compreensão das intenções do Arquiteto e esta precisão decorre da existência de regras e propriedades paramétricas nos componentes do modelo que garantem a unidade dos dados e informações presentes nas variadas formas de visualização do modelo, como plantas, cortes e planilhas. A melhor colaboração entre disciplinas é outra característica inerente ao processo de projeto em BIM, uma vez que ela ocorre, essencialmente, a partir dos modelos tridimensionais e respectivas visualizações bidimensionais vinculadas.

Na pré-fabricação de componentes, com a utilização por exemplo de equipamentos de comando numérico computadorizado, conhecidos como CNC, há uma facilitação a partir da introdução de um modelo da informação da construção dada a existência de elementos em 3D de forma nativa, condição básica para interoperabilidade com estes equipamentos.

A compatibilização de projetos, origem recorrente de problemas na etapa de execução da obra quando realizada incorretamente, conta com recursos computacionais específicos para localização automatizada de interferências,

antecipando à fase de projeto problemas que seriam encontrados na obra, e que gerariam desvios de prazo e custos, que também podem ser controlados com a vinculação entre o modelo, o cronograma e o banco de dados de custos, gerando visualizações tridimensionais do próprio modelo a fim de facilitar a compreensão do estado da obra neste quesito.

Durante a etapa de execução, o modelo pode ser alimentado com dados relativos à manutenção e operação da edificação. O modelo, por sua vez, pode ser vinculado aos sistemas e/ou processos de manutenção utilizados pelo proprietário ou administrados da edificação.

2.2. HISTÓRICO DE IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA NO MUNDO

A implementação do BIM ao redor do mundo, no âmbito governamental ou privado, tem ocorrido em cada país em momentos e abrangências distintas e isto tem mudado ao longo dos últimos anos. Os Estados Unidos, tidos como líderes globais no desenvolvimento e implementação de BIM, segundo Peter Smith (SMITH, 2014), determinaram a obrigatoriedade no uso da tecnologia para todos os empreendimentos federais daquele país desde 2003, no entanto, em um estudo comparativo sobre a adoção do BIM no mundo, desenvolvido por Bilal Succar e Mohamad Kassem (OFFICE FOR NATIONAL STATISTICS, 2017), aponta a China, cujo setor da construção representou 8% do PIB em 2018 (CHEN e WOO, 2019) e o Reino Unido, cujo setor da construção representou 7% do PIB em 2017, à frente dos demais 19 países estudados, inclusive os EUA, no quesito macro maturidade, que avalia 8 aspectos como infraestrutura tecnológica, ensino, quadro regulatório, publicações de grande relevância, entre outros, de modo que estes dois países apresentam uniformidade dentre os fatores estudados. Eles ainda classificam os 21 países de relevância econômica mundial em relação aos estágios de capacitação em modelagem, colaboração e integração. O primeiro quesito aparece à frente dos demais em todos os mercados à exceção da Suíça em que o estágio de capacitação em modelagem se equipara ao de colaboração, (KASSEM e SUCCAR, 2017).

Dentro do contexto latino-americano, é possível destacar: a Argentina, com o princípio do fomento do BIM em 2016 e posterior definição institucional da *Estrategia*

BIM Argentina em 2017 cujo planejamento se estende até 2015. O Chile, tido como “o mais avançado na implementação de BIM” na América Latina, definiu o ano de 2020 como meta para exigência do desenvolvimento de projetos públicos em BIM. Já a Colômbia, embora tenha um alto grau de consciência sobre o BIM, apresenta pequeno desenvolvimento em relação aos demais países do continente, (GOMEZ-SANCHEZ, ROJAS-QUINTERO e AIBINU, 2016), no entanto, em 2017 o país firmou um Memorando de Entendimentos (MoU) com o Reino Unido com o intuito de desenvolver um plano estratégico BIM para o país. No México não há ainda a obrigatoriedade de desenvolvimento de projetos públicos em BIM e somente em 2018 a Secretaria da Fazenda e Crédito Público (SHCP) divulgou o plano estratégico para adoção de BIM em projetos de infraestrutura. Por fim, destaca-se o Uruguai, que iniciou estudos em 2018 acerca do estágio de adoção do BIM no país com intenção de conclusão da estratégia nacional de disseminação do BIM em 2019. (SANTOS, 2019).

2.3. USO DE MODELOS DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL

A introdução do BIM no Brasil, segundo (SANTOS, 2019), se deu há aproximadamente 15 anos, no meio acadêmico, seguido pelos fornecedores de ferramentas computacionais e a indústria. Segundo (WILTON e SANTOS, 2016), no ano de 2009 o MDIC criou a “Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção, ABNT/CEE-134, que foi incumbida de desenvolver normas técnicas sobre BIM”. Um dos resultados desta comissão foi o grupo de trabalho para o desenvolvimento da norma de componentes BIM, a NBR 15965.

À data de desenvolvimento deste trabalho, a ABNT havia publicado 5 partes da NBR 15965 de um total de 7, sendo eles o 15965-1 em 2011, 15965-2 em 2012, 15965-3 em 2014, 15965-4 em 2015 e a ISO 12006-2 em 2010.

Além deste movimento, o governo federal instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM com o decreto de número 9.377 de 17 de maio de 2018 e ela se posicionou como o mais recente avanço no fomento da Modelagem da Informação da Construção no país.

É possível observar, portanto, um movimento consistente das classes política, acadêmica e da indústria da construção civil no sentido de assimilarem novas

tecnologias com o intuito de promover o crescimento de todo o setor uma vez que, segundo um estudo da WEF (WORLD ECONOMIC FORUM; THE BOSTON CONSULTING GROUP, 2016), nas próximas décadas 65% do crescimento da construção civil no mundo ocorrerá em países emergentes.

2.4. INTERFACES DO *BIM* COM A ETAPA DE CONSTRUÇÃO

Chuck Eastman, em seu livro *BIM Handbook*, destaca o uso do modelo da informação da construção no canteiro de obras para verificação, orientação e rastreamento de atividades em campo e ainda cita tecnologias que suportam tais usos como *GNSS*, ou *GPS* como indicado – popularmente – por Eastman, etiquetas (*tags*) com tecnologia de *RFID* embarcada e escaneamento a *laser* baseado em equipamentos do tipo *LiDAR*, (EASTMAN, TEICHOLZ, *et al.*, 2011).

Outras tecnologias como as Realidades Aumentada, Virtual e Misturada têm sido objeto de estudo de aplicação na indústria da construção para visualização do projeto em escala real com sobreposição do espaço construído (WANG, WANG, *et al.*, 2014), em obra para inspeção do ambiente construído com sobreposição do modelo *BIM* (PARK, LEE, *et al.*, 2012) e operação/manutenção de um empreendimento a partir da utilização de modelos *BIM* (YANG, 2018).

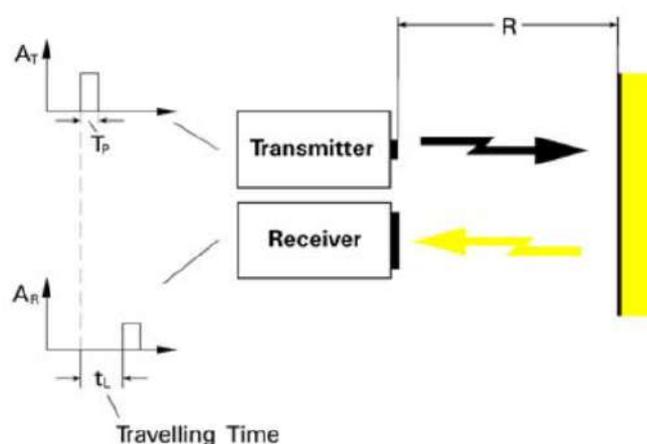
3. LASER SCANNING – ESCANEAMENTO A LASER

3.1. CONCEITUAÇÃO E VARIAÇÕES DA TECNOLOGIA

A tecnologia de escaneamento a *laser* tem potencial de ser aplicada em basicamente todos os estágios do ciclo de vida de uma edificação, segundo relatório do *The Boston Group* (GERBERT, CASTAGNINO, *et al.*, 2016), desde o projeto e construção até a operação e manutenção.

Genericamente conhecidos como LiDAR (*Light Detection And Ranging*), os equipamentos de escaneamento a *laser* têm como princípio de funcionamento a emissão de um feixe de luz em espectro e comprimento de onda específicos em todas as direções a partir do equipamento, em 360° no plano horizontal e em torno de 300° no plano vertical. Estas propriedades de giro são relativas a equipamentos desenvolvidos nesta década.

Figura 3 – Princípio de funcionamento da tecnologia LiDAR baseada em Tempo de Voo (do inglês TOF – *Time of Flight*)



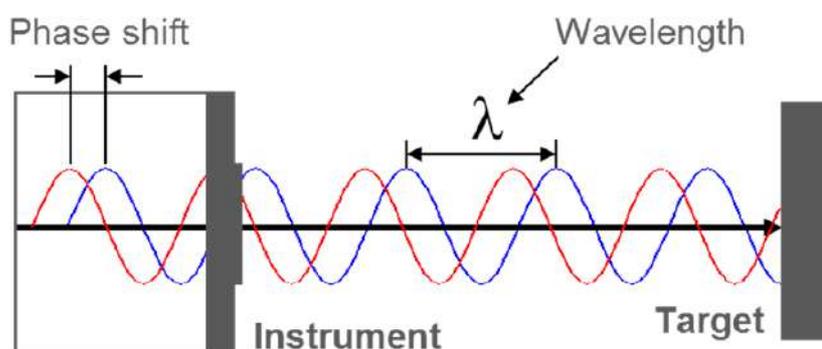
Fonte: imagem extraída de (K-H. THIEL, 2004)

Assim como apontado por K.-H. Thiel (K-H. THIEL, 2004), Figura 3, um equipamento como este emitirá feixe de luz a partir de um componente transmissor de modo a colidir com o objeto alvo e retornar ao equipamento para ser capturado por um componente receptor. Os tempos de emissão e recepção deste feixe de luz são registrados de forma precisa (da ordem de +-6 mm a uma distância de 50 m do alvo) e, baseado nestes dados, a distância do ponto de emissão até o objeto alvo é calculada juntamente com o ângulo para geração da posição de um ponto da nuvem. Este princípio é conhecido como ToF (Time of Flight, tradução livre do inglês: “tempo

de voo”), (ISRAEL e PILEGGI, 2016) e ela trabalha com pulsos de luz, (ALONSO, MARTÍNEZ-RUBIO, et al., 2012).

(K-H. THIEL, 2004) acrescenta o segundo princípio de funcionamento da tecnologia de escaneamento a laser, o da Diferença de Fase, Figura 4, que trabalha com *laser* de ondas contínuas cuja intensidade do *laser* em si é modulado por sinusoidais ou sinal de onda quadrada.

Figura 4 - Princípio de funcionamento da tecnologia de escaneamento a laser baseada em Diferença de Fase (do inglês *Phase Difference*)



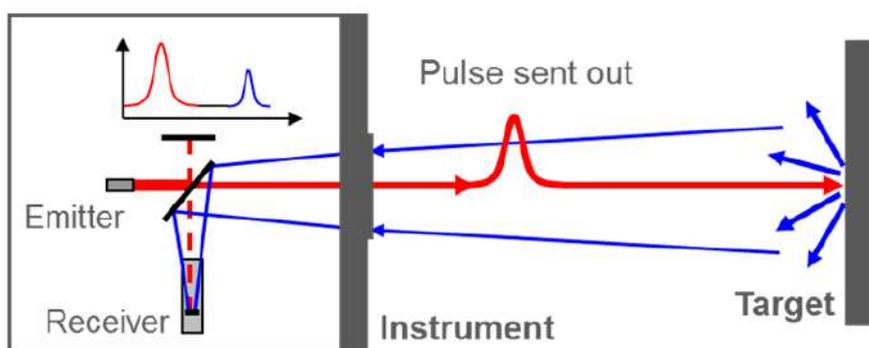
Fonte: imagem extraída de (MAAR e ZOGG, 2014)

Ambos princípios apresentam limitações sendo que os equipamentos com tecnologia *ToF* embarcada tendem a ser mais lentos do que aqueles cujo funcionamento é baseado na diferença de fase e isto ocorre dada a necessidade de cada ciclo de medição de um ponto ter que aguardar a conclusão do ciclo anterior. Quanto maior a distância, maior será o tempo de um ciclo de medição levando em consideração a velocidade da luz. Em contrapartida, os equipamentos baseados no princípio da diferença de fase, apresentam limitações de alcance. Em ambos os casos, cada medição realizada gera um ponto na posição exata de encontro entre o feixe de luz e o objeto medido. De centenas de milhares a alguns milhões de pontos são gerados por segundo em um levantamento. O conjunto de pontos, cada um em sua coordenada XYZ, gera a representação virtual, na forma de nuvem de pontos, dos elementos levantados.

Atualmente é possível encontrar no mercado os dois tipos de tecnologia. Fabricantes como a Zoller + Fröhlich e a Faro dispõem de equipamentos baseados na diferença de fase. A Leica Geosystems, por exemplo, fabrica equipamentos de escaneamento a laser baseados no princípio do tempo de voo, porém com o apoio

adicional da tecnologia *WDM* (*Wave Form Digitizer*) - que consiste na medição eletro-óptica (do inglês *electro-optical distance measurement* ou *EDM*) - combina ambos princípios explanados anteriormente, o tempo de voo e a diferença de fase (Figura 5). Segundo este último fabricante, ela proporciona maior velocidade e precisão de levantamento, (MAAR e ZOGG, 2014).

Figura 5 - Princípio de funcionamento da tecnologia WDM, que combina os princípios de tempo de voo e diferença de fase



Fonte: imagem extraída de (MAAR e ZOGG, 2014)

Os comprimentos de onda variam em função da aplicação da tecnologia. As aplicações terrestres trabalham com o comprimento de onda de 1.0 a 1.5 μm enquanto as aplicações batimétricas (sobre a água) trabalham com comprimentos de onda de 0.50 - 0.55 μm (MARCOE, 2007).

Os equipamentos com câmera digital integrada ainda registram as fotos em alta definição e inserem nas propriedades de cada ponto a cor do pixel da foto mais próximo ao ponto. Desta forma, visualizar a nuvem de pontos se torna semelhante a visualização de uma foto, porém em 3D.

Há ainda uma variante da tecnologia de escaneamento tridimensional, baseada na técnica de contato. O CMM (*Coordinate Measuring Machine*), Figura 6, utiliza uma sonda (*probe*) para a realização do escaneamento, e esta tecnologia é considerada como de contato pois é necessário o contato constante da sonda com o objeto levantado, o que pode se tornar um problema com objetos delicados ou flexíveis/ moles que se deformarão durante o levantamento. Esta tecnologia é altamente precisa, porém é muito lenta em relação aos métodos sem contato. É comumente utilizada na indústria para análise de pequenos objetos, (CHANG e LIN, 2011).

Figura 6 - Equipamento do tipo CMM, fabricado pela Zeiss



Fonte: Zeiss

Há ainda outras tecnologias de escaneamento 3D, como a Fotogrametria, e que são capazes de realizar levantamentos para geração de visualizações tridimensionais do espaço, porém sem a utilização do *laser*, adotando câmeras estereoscópicas ou mesmo convencionais.

3.2. HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO

A tecnologia de escaneamento a laser foi desenvolvida por volta da década de 70 e era utilizada basicamente para o mapeamento de partículas da atmosfera, porém como a tecnologia de georreferenciamento ainda não havia sido desenvolvida, o sensor ficava fixo em uma posição única. Na década de 80, com o advento do GPS, novas aplicações para o escaneamento a laser passaram a ser desenvolvidas como a incorporação dela em aeronaves para escaneamento superfície terrestre. Um dos primeiros usos foi o escaneamento a laser batimétrico, que com comprimento de onda específico era capaz de penetrar a água e escanear o leito de rios, por exemplo. Já na década de 90 a precisão do levantamento evoluiu para a casa dos decímetros, (CARTER, SCHMID, *et al.*, 2012).

Segundo um estudo de aplicação da tecnologia de escaneamento 3D a *laser* na construção civil realizado por Israel e Pileggi (2016), verificou-se a evolução da tecnologia de 1997 a 2010 e foram analisados os aspectos relacionados a portabilidade do equipamento, frequência de escaneamento em pontos por segundo, capacidade de giro do prisma para escaneamento global do espaço, velocidade de processamento dos dados, entre outros. Eles apontam que no período analisado, a partir de 2007 os equipamentos passaram a reduzir de tamanho o que facilitou a movimentação entre cenas em campo e houve um considerável incremento no alcance dos objetos levantados. Previamente aos anos 2000, as estações de escaneamento a *laser* não dispunham de prismas com giro automatizado, isto é, para a varredura em 360° do ambiente era necessário o giro manual do equipamento e realização de novo escaneamento até que o giro total se completasse sendo que, atualmente, estes equipamentos realizam o giro do prisma de direcionamento do *laser* automaticamente, (ISRAEL e PILEGGI, 2016).

3.3. CONTEXTO E VISÃO INTERNACIONAIS

Em entrevista (disponível nos Apêndices deste trabalho) realizada com o Prof. Dr. Lúcio Soibelman, chefe do departamento de Engenharias Civil e Ambiental da USC - Universidade de *Southern California*, o autor buscou colher da vasta experiência do entrevistado, dados a respeito dos principais aspectos e contexto internacional relacionados ao uso da tecnologia de escaneamento a *laser*.

À cerca do atual estágio de adoção da tecnologia nos Estados Unidos, Soibelman aponta, contrariando as expectativas do autor, que a tecnologia de fotogrametria está mais difundida do que a de escaneamento a *laser* e isto ocorre basicamente em função do custo. Segundo ele, para aquisição de um bom equipamento de escaneamento a *laser* seria necessário um investimento da ordem de USD100.000,00 enquanto um *drone* com fotogrametria embarcada custaria em torno de USD1.500,00. Ele ressalta ainda que fatores como o peso dos equipamentos de escaneamento a *laser*, exigem *drones* mais robustos para a realização de sobrevoos e, portanto, mais caros embora com a evolução tecnológica, equipamentos mais leves tenderão a ser desenvolvidos.

Ainda sobre o custo, o Prof. Dr. Lúcio Soibelman sugere que deverá haver uma progressiva redução no futuro assim como ocorre com outras tecnologias e aponta o setor automobilístico como catalisador neste processo para a redução do custo da adoção da tecnologia em função da incorporação de componentes de escaneamento a *laser* nos veículos autônomos, que tenderão a ser cada mais frequentes nas ruas.

Para o especialista, nos EUA, as construtoras têm optado pela aquisição do equipamento de escaneamento a *laser* em vez da terceirização do serviço. Com equipamentos próprios, as equipes internas têm desenvolvido os trabalhos de levantamento e processamento das nuvens de pontos para consumo próprio, essencialmente como medição para conferência de serviços do canteiro de obras, e repasse ao demais envolvidos nos projetos. As empresas especializadas na prestação de serviço de escaneamento 3D tendem a serem contratadas para serviços pontuais, sendo raros os serviços de escaneamento integral de um empreendimento.

Questionado sobre a capacitação dos profissionais do setor da Construção Civil para o consumo de nuvens de pontos, Soibelman aponta o ensino nos EUA como principal contribuidor para a disseminação de tecnologias no país, pois o profissional, desde a graduação, “aprende a aprender”, de modo a facilitar a assimilação de novos conhecimentos de forma autodidata para posterior implementação no ambiente de trabalho.

Soibelman conclui com breve parecer sobre sua percepção a respeito do grau de adoção da tecnologia em outros países: o norte da Europa se assemelha atualmente aos EUA, Espanha e Portugal ainda estão atrasados em comparação com os demais países mais avançados neste quesito. Destaca ainda que a China tem inclusive tecnologia própria e há produções acadêmicas relevantes, porém não soube informar sobre a disseminação na prática em obras do país. Segundo ele, em Israel o Prof. Rafael Sacks, referência mundial em BIM, tem intenso desenvolvimento de trabalhos acadêmicos sobre a tecnologia de escaneamento a *laser*, em especial à cerca da pré-fabricação.

3.4. CONTEXTO E VISÃO NACIONAIS

A tecnologia de escaneamento a *laser*, no setor da Construção Civil brasileiro, tem sido observada em casos isolados, com iniciativas pontuais de empresas para

emprego da tecnologia. Algumas empresas do setor de projetos adquiriram equipamentos de escaneamento a *laser* com o objetivo auxiliar no processo de medição de edificações existentes para fins de desenvolvimento de projetos de intervenção. Luiz Henrique Ceotto, profissional de referência na construção civil brasileira, em entrevista com o autor disponível nos Apêndices deste trabalho, defendeu que as construtoras, no geral, não deveriam adquirir o equipamento, mas, sim, a contratação do serviço de escaneamento de empresas especializadas no assunto.

Ceotto acredita que no Brasil as iniciativas de emprego da tecnologia, têm sido no sentido de conferência da execução das atividades da obra.

Há iniciativas institucionais no sentido de promoção da tecnologia como a “Cartilha do BIM - 10 Motivos Para Evoluir com o BIM”, publicada pelo CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção), instituição que tem como uma de suas prioridades o “...foco na inovação tecnológica”. Nesta cartilha, o CBIC indica que a tecnologia do escaneamento a *laser* tem se tornado cada vez mais comum e que ela pode ser utilizada em conjunto com o BIM para detecção de desvios, (CATELANI, 2017).

Por outro lado, o Prof. Fabiano Corrêa, em entrevista com o autor, indica o fator “custo”, ainda alto, como um limitante para a maior disseminação da tecnologia de escaneamento a *laser* no setor da construção. Em outra vertente, que favorecerá também a disseminação do escaneamento a *laser*, ele menciona a necessidade da transposição de barreiras tecnológicas para que a transformação de uma nuvem de pontos se torne possível de forma automatizada, sendo que atualmente esta solução já está disponível para geometrias simples como paredes, pilares e tubulações.

3.5. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA DE ESCANEAMENTO A LASER

3.5.1. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA PARA FINS DE RESTAURO E PRESERVAÇÃO PATRIMONIAL

No Brasil, “grande parte dos bens de valor histórico ainda não foi devidamente documentada e o número de técnicas e tecnologias utilizadas para a sua documentação é extenso”, (TOLENTINO, 2018).

Uma edificação histórica necessariamente se trata de um objeto de grande porte e, em geral, com uma grande quantidade de elementos com alto grau de detalhamento, logo, o escaneamento a *laser* se coloca como uma tecnologia viável para o levantamento da condição existente deste tipo de edificação com relativa rapidez e precisão em comparação com os processos tradicionais e manuais de medição e capacidade de captura de detalhes, fator fundamental para fins de restauro e preservação patrimonial.

3.5.2. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO PARA FINS DE ATUALIZAÇÃO DO MODELO PARA O AS-BUILT

Um modelo da informação da construção tende, em geral, a ser um sistema complexo em virtude da diversidade geométrica e de informações dos componentes modelados. O ambiente construído se coloca como um sistema ainda mais complexo pois diversos detalhes de construção, operação, manutenção e ocupação não são incorporados ao BIM. A retroalimentação de um modelo da informação da construção a partir de uma nuvem de pontos extraída do estado real do ambiente construído para criação de um BIM *as-built* pode, idealmente, ser semi-automatizada ou automatizada na totalidade, no entanto, como destacado por (TANG, HUBER, *et al.*, 2010), empreendimentos “podem ser ambientes complexos, com inúmeros objetos dissociados, como mobiliários e suportes em paredes, que acabam por ocultar a visibilidade dos componentes que efetivamente serão modelados”. Ele destaca ainda que mesmo em situações sem o bloqueio visual do componente a ser modelado, poderá haver dificuldade em se representar e identificar geometrias complexas como os detalhes de caixilhos e esquadrias.

Outras questões devem ser discutidas, como a finalidade relacionada a atualização de um BIM. A depender do grau de inteligência embarcada em uma eventual ferramenta computacional de atualização automatizada de um BIM para o *as-built*, no caso de ser baixo, talvez seja possível apenas a atualização geométrica do modelo, no caso de ser alto, talvez seja possível a atualização também de dados relativos a operação e manutenção como o estado de conservação de um dado objeto, o que exigiria a implementação de inteligência artificial. Neste sentido, no decorrer da construção de uma edificação, sucessivos escaneamentos poderiam ser realizados

com o intuito de registrar a evolução da obra possibilitando a sobreposição destes levantamentos para, com o auxílio da IA e de processamento computacional, levar à identificação de itens não mais visíveis na fase de utilização do imóvel, como eletrodutos, instalações hidráulicas, pilares e outros, após a conclusão da construção, a fim de que, por exemplo, se planejem intervenções de manutenção ou reabilitação de sistemas construtivos.

3.5.3. LEVANTAMENTO DE EDIFICAÇÃO EXISTENTE PARA FINS DE EXECUÇÃO DE NOVAS INTERVENÇÕES

Em um contexto de desenvolvimento de projeto de interiores de escritórios para intervenção em uma edificação existente sem acesso a um BIM ou projeto *as-built* confiável, a nuvem de pontos se faz imprescindível à boa qualidade de projeto e as atividades a seguir.

A criação do modelo de informações da construção da edificação existente a partir da captura precisa das posições da estrutura, montantes da fachada, desníveis entre ambientes, altura de forros, instalações prediais, dutos de extração de fumaça, entre outros, traz grandes vantagens em relação aos processos tradicionais e manuais de levantamento, que muitas vezes acabam tendo a medição negligenciada, gerando falhas no modelo existente. Conseqüentemente, estas falhas são refletidas no projeto e apenas serão detectadas durante a execução, etapa em que o poder de alteração de projeto é baixo e o custo de alteração é alto.

Em projetos de intervenções, é comum a necessidade de realizar o aproveitamento das redes principais existentes como troncos da rede de instalações de combate a incêndio (chuveiros automáticos por exemplo), dutos de extração de fumaça, prumadas de elétrica e demais sistemas hidráulicos, dentre outros. Em um levantamento manual, dificilmente estes elementos são levantados com precisão em relação a posição no espaço e dimensão.

Além de funcionar como referência para a modelagem, esta coleta de dados por escaneamento atua ativamente no processo de compatibilização de projetos, sendo possível a verificação de interferências entre os pontos da nuvem de dados e os elementos dos modelos.

Há segmentos na construção civil, que dependem de um levantamento preciso das informações cadastrais para otimizarem seus projetos e, portanto, o grau de efetiva utilização de espaços, como o segmento de reformas de interiores em edifícios comerciais, a fim de se potencializar a área de locação, encontrando na tecnologia de escaneamento, um importante aliado.

3.5.4. LEVANTAMENTO DE VOLUME DE TERRA DE ESCAVAÇÃO

Atualmente, o processo de levantamento topográfico planialtimétrico utilizado na grande maioria dos terrenos consiste no mapeamento de pontos dispersos virtualmente sobre o terreno informando as coordenadas XYZ de cada ponto. A interpolação destes pontos, segundo critérios específicos, gera a superfície tridimensional estimada do terreno. Além disso são informadas posições de vegetação e outros elementos relevantes existentes sobre o terreno. O fato é que o produto deste tipo de levantamento representa parcialmente a realidade pois a quantidade de pontos e a escolha dos objetos existentes coletados são determinados pelo profissional que realiza o levantamento, e tem caráter discreto (pontos isolados).

Já o levantamento topográfico realizado com um equipamento de escaneamento a *laser* proporciona um produto que representa a realidade, na prática, de uma forma mais completa do que o anterior uma vez que são capturados todos os objetos visíveis ao alcance do equipamento, com densidade muito maior a julgar pela quantidade de pontos mapeados, da ordem de milhões, automaticamente.

Deste modo, estudos mais precisos e aprofundados para a realização de escavações podem ser realizados com a referida tecnologia, pois as condições de entorno do terreno, edificações e vegetações existentes, e visíveis ao equipamento terão sido capturadas na sua totalidade, sem omissões.

A nuvem de pontos do levantamento topográfico na fase de construção ainda poderá ser utilizada como elemento verificador da implantação do projeto de topografia: inclinações de taludes, cotas de escavação, locação de muros de arrimo e taludes, compatibilidade entre vegetações existentes a permanecer, monitoramento de escavações em áreas de risco, entre outros.

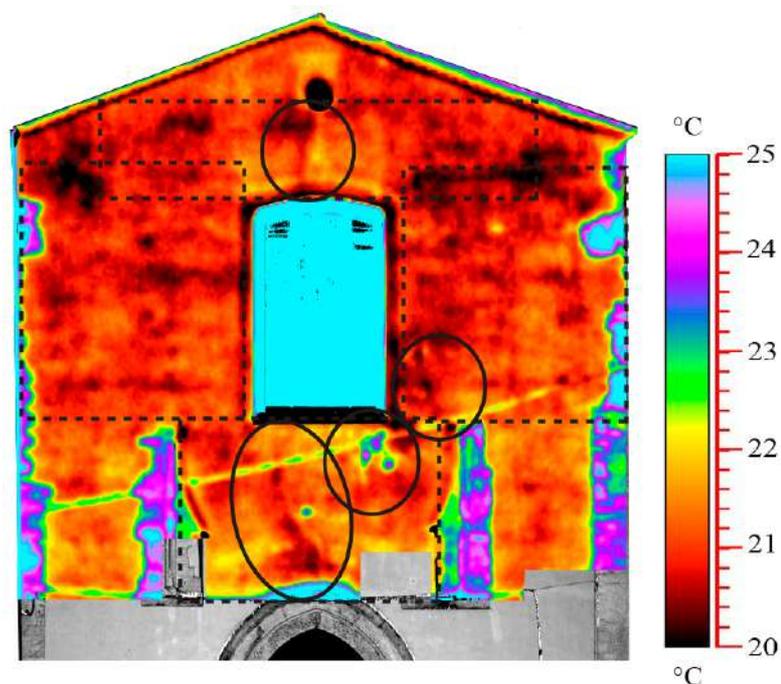
3.5.5. MAPEAMENTO DE FACHADA PARA DETECÇÃO DE PATOLOGIAS NA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS

Uma das patologias mais frequentemente verificadas em revestimentos de fachada é o deslocamento, e uma das causas congênitas é o processo construtivo falho ou deficiência de qualidade de materiais, acompanhado da ausência de projeto técnico específico. Esta patologia, muitas vezes, é apenas detectada quando ocorre o deslocamento inicial ou quando o dano já está em estágio avançado. A tecnologia da câmera termográfica potencializa e amplifica a capacidade humana de inspeção de uma fachada de um empreendimento (MORESCO, VERONEZ, *et al.*, 2015).

Segundo (TAKEDA e MAZER, 2018) esta tecnologia pode ser utilizada como ensaio não destrutivo em substituição ao ensaio de percussão com posterior confirmação da patologia com inspeção no local verificado.

A termografia infravermelha consiste em uma técnica de inspeção não-destrutiva e sem contato, que mede a energia em forma de calor emitida pelo objeto inspecionado, e a converte em sinais elétricos que são, então, apresentados no formato de uma imagem digital térmica (COSTANZO, MINASI, *et al.*, 2014).

Figura 7 - Imagem térmica obtida através da técnica de termografia com sobreposição à nuvem de pontos gerada pelo escaneamento a *laser* (COSTANZO, MINASI, *et al.*, 2014)



Fonte: (COSTANZO, MINASI, *et al.*, 2014)

(COSTANZO, MINASI, *et al.*, 2014), em estudo realizado em uma edificação histórica na Itália, constatou que a combinação das tecnologias de escaneamento a *laser* e de termografia possibilitou a melhor compreensão da inspeção realizada pois com a união dos dois sensores foi possível, dentre outras constatações, detectar irregularidades superficiais acima de janelas que apresentavam características construtivas tais que indicariam a existência de um elemento arquitetônico oculto (COSTANZO, MINASI, *et al.*, 2014). A sobreposição da nuvem de pontos, representando graficamente as irregularidades, e das imagens termográficas, representando a heterogeneidade dos materiais, foi o fator determinante para que esta compreensão fosse facilitada.

Existem, atualmente, equipamentos de escaneamento a laser com câmeras termográficas integradas que geram imagens fotogramétricas em 360° (70° na vertical) superpostas a nuvem de pontos. O fabricante de equipamentos de escaneamento a *laser* *Leica Geosystems* desenvolveu um produto, o “BLK 360” que é capaz de produzir uma nuvem de pontos através do escaneamento a *laser* em conjunto com a termogrametria pois dispõe de uma câmera termográfica integrada. Os termogramas gerados permitem a verificação da temperatura em cada ponto do

termograma. Segundo a Floth Sustainable Building Consultants, empresa australiana de consultoria para sustentabilidade na construção civil, há potencial de utilização desta tecnologia, por exemplo, para criação de mapas de calor nos ambientes do modelo da informação da construção para registro de quais sistemas e/ou equipamentos estão em funcionamento, (Floth Sustainable Building Consultants, 2019).

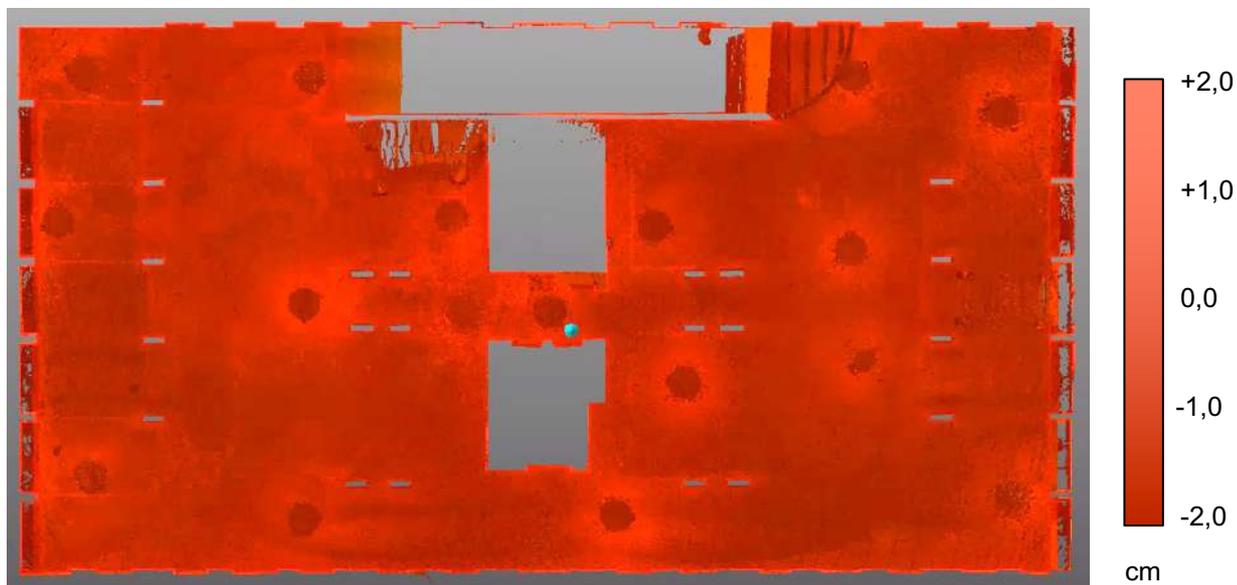
3.5.6. MAPEAMENTO DE PLANICIDADE EM LAJES DE CONCRETO MOLDADO *IN LOCO*

Com a realização do escaneamento a *laser* da superfície de lajes de concreto moldado *in loco* é possível gerar um mapa cromático para verificação da planicidade destas lajes. Diferentes tons indicam cotas de nível distintas oriundas dos pontos da nuvem.

São diversas as possibilidades de uso deste recurso. Com o levantamento da planicidade da laje é possível:

- Levantar com alto grau de precisão o volume de material necessário para execução de contrapisos sobre lajes com problemas de planicidade. Desvios em relação ao orçado inicialmente podem ser rapidamente revistos após a execução e mapeamento da laje. A revisão poderá eventualmente sugerir a adoção de materiais mais leves para evitar sobrecarga à laje e correções ao processo de execução das lajes seguintes.
- Detectar eventuais equívocos sistemáticos quando da execução das formas da estrutura.
- Para grandes lajes corporativas, com previsão de instalação de pisos elevados, este recurso pode ser utilizado para análise dos pontos mais críticos para verificação de altura mínima para instalação do piso elevado (Figura 8).

Figura 8 – Vista superior de uma garagem de um edifício residencial no formato de nuvem de pontos com representação de variação cromática baseada na diferença de nível da superfície para verificação de planicidade.



Fonte: nuvem de pontos obtida com Professor Rafael Rigoni

Observação: Trechos sem coloração indicam regiões sem levantamento. Marcações circulares representam as posições a partir das quais foi realizada a coleta de dados

3.5.7. CONTROLE DE PERDA INCORPORADA E DESVIOS GEOMÉTRICOS EM FACHADA

As perdas de materiais em obras podem representar percentuais da ordem de 10% ou ainda superiores, e muitas vezes são ignorados pelas construtoras por vários motivos, dentre eles a dificuldade em rastreá-los. (SOIBELMAN, 1993) classifica as perdas como evitáveis ou inevitáveis e diretas ou indiretas sendo esta última subdividida em perda por substituição, por negligência e por produção.

As perdas indiretas por negligência, como o uso excessivo de argamassa para garantir a planicidade de fachadas de edifícios cuja estrutura tenha sido executada com desvios no prumo, podem ser minimizadas com a melhoria do controle e acompanhamento da execução da estrutura. Este controle pode ser realizado com o escaneamento a *laser* das formas de concreto para garantir o prumo corretamente durante a fase de construção. Após a execução de cada pavimento da estrutura o escaneamento pode ser novamente realizado para verificação do grau de variação entre a forma e a peça estrutural, incluindo a detecção de desvios localizados ou pontuais por conta de abertura de formas, perda de alinhamento ou prumo de elementos de fachada.

A tecnologia deve ser utilizada neste caso como método verificador em vez de remediador, ou seja, a execução da obra deve seguir procedimentos e critérios de qualidade tais que proporcionem uma boa qualidade executiva desde o princípio (protótipo) de modo que o escaneamento seja utilizado para fins de constatação apenas.

4. ESTUDO DE CASO - INTEGRAÇÃO DO ESCANEAMENTO A LASER COM O BIM – EXPERIÊNCIAS NACIONAIS

4.1. EDIFÍCIO COMERCIAL DE GRANDE PORTE NO RIO DE JANEIRO

O empreendimento comercial AQWA Corporate da incorporadora Tishman Speyer, executado pela construtora HTB e projetado pelo renomado escritório de Norman Foster, o *Foster + Partners*, com aproximadamente 90 metros de altura e 134.000 m², cujos pavimentos são desalinhados entre si em função da rotação no eixo vertical resultam no desenvolvimento de uma fachada assimétrica (Figura 9). Tal condição especial de projeto e consequentemente de execução levou a construtora a decidir pelo escaneamento a *laser* da estrutura metálica durante a obra para aferição e comparação com o modelo da informação da construção com o objetivo de garantir a precisa instalação dos panos de vidro da fachada.

O processo de escaneamento foi terceirizado a uma empresa especialista neste tipo de serviço e houve o mapeamento externo e interno da torre à medida em que os pavimentos eram executados, ou seja, o processo não foi realizado após a conclusão da execução da estrutura metálica.

Os pilares metálicos com comprimentos da ordem de 4 a 6 metros executados em posição inclinada em relação ao eixo vertical exigiram elevada precisão do ponto de vista executivo, com admissão de desvios da ordem de milímetros, dado que pequenas variações angulares poderiam resultar em grandes desvios nas extremidades, acima de 10 centímetros, e tendo a estrutura metálica sido pré-fabricada em outro estado, o custo e tempo de transporte até o Rio de Janeiro não admitiriam falhas no canteiro.

As atividades de escaneamento foram iniciadas no canteiro de obras em conjunto com a construção dos primeiros pavimentos. A prestadora do serviço era a responsável pela realização do escaneamento, registro (processo de reunião das nuvens de pontos em um modelo único, consistente e referenciado), tratamento das nuvens de pontos que consistia na eliminação de objetos indesejados que eventualmente tivessem sido levantados e fornecimento dos arquivos digitais de nuvens de pontos georreferenciadas com as mesmas coordenadas utilizadas pelos modelos da informação da construção do projeto. As nuvens de pontos eram

recepcionadas pela construtora, que se responsabilizou pela análise e comparação delas com os modelos da informação da construção para mapeamento das eventuais distorções, referentes às movimentações decorrentes da acomodação estrutural já previstas em projeto. Um relatório de desvios era repassado ao projetista estrutural para a realização dos devidos ajustes no modelo de Estrutura e posterior liberação à etapa de pré-fabricação das peças estruturais.

Figura 9 - Empreendimento AQWA Corporate da Tishman Speyer, localizado na região do Porto Maravilha no Rio de Janeiro, cuja execução da estrutura metálica foi controlada com escaneamento a laser



Fonte: <https://www.tishmanspeyer.com.br/comercial/aqwa-corporate>

É relevante destacar que o início do processo de escaneamento focou no único e exclusivo mapeamento da edificação em construção e somente após o recebimento de peças pré-fabricadas com dimensões incorretas é que se passou a realizar o escaneamento dos elementos metálicos diretamente na fábrica com o apoio do modelo da informação da construção e, após a adoção desta medida, o índice de rejeição de peças *in loco* foi reduzido consideravelmente, segundo Ceotto, em entrevista realizada pelo autor, não tendo sido possível a obtenção desta métrica.

Tal precisão foi determinante para a potencialização do grau de acerto na execução da pele de vidro da fachada. Os aparelhos de apoio para fixação da fachada à estrutura metálica admitem poucos centímetros de desvio, sendo necessários aparelhos mais onerosos para variações acima da ordem de 10 centímetros, segundo Ceotto. Deste modo, o projeto executivo desta disciplina precisou ser ajustado após

cada rodada de revisão do projeto estrutural que passou a refletir as atualizações apresentadas pelas nuvens de pontos.

Outros métodos de levantamento, como o processo tradicional de levantamento topográfico, poderiam ter sido utilizados para o mapeamento da geometria da estrutura, no entanto o tempo de desenvolvimento do escaneamento a *laser* é consideravelmente inferior e com densidade de pontos muito superior, da ordem de milhões, em comparação ao método de levantamento topográfico.

O uso da tecnologia de escaneamento a *laser* na execução deste empreendimento, segundo o engenheiro entrevistado, foi fundamental para assegurar o cumprimento do exíguo prazo de execução de obra estabelecido pelo contratante.

4.2. RETROFIT DE EDIFÍCIO COMERCIAL CONVERTIDO PARA HOSPITAL

O autor acompanhou o escaneamento a *laser* de uma laje de 900 m² de um edifício executado para fins comerciais e que passa atualmente por processo de conversão para o uso hospitalar com o desenvolvimento do projeto acompanhado de uma modelagem da informação da construção contratada pela própria construtora, com o objetivo de auxiliar a execução em campo do novo projeto em virtude do curto prazo imposto pela administração do futuro hospital.

Tendo em vista o princípio de funcionamento de um equipamento de escaneamento a *laser* (Figura 3), ficou evidente que para a captura da superfície de um objeto, como uma viga de concreto armado, é essencial que o componente transmissor, ou seja, o equipamento de escaneamento a *laser* propriamente dito, seja convenientemente posicionado em um ponto de modo a permitir que o feixe de luz atinja a superfície daquele objeto. Supondo que visão a partir do equipamento de escaneamento a *laser* equivale àquela indicada na Figura 10, espera-se obter da viga em destaque, à título de exemplo, via nuvem de pontos, apenas as superfícies apontadas.

Observa-se, portanto, que para o levantamento completo de um pavimento como este são necessários múltiplos levantamentos parciais, em diversas posições, denominadas cenas.

O objetivo deste estudo de caso focou no mapeamento das peças estruturais e elementos arquitetônicos como vedações verticais e fechamento externo em detrimento da captura das instalações prediais.

Figura 10 - Exemplo de superfícies de elemento estrutural a serem capturadas

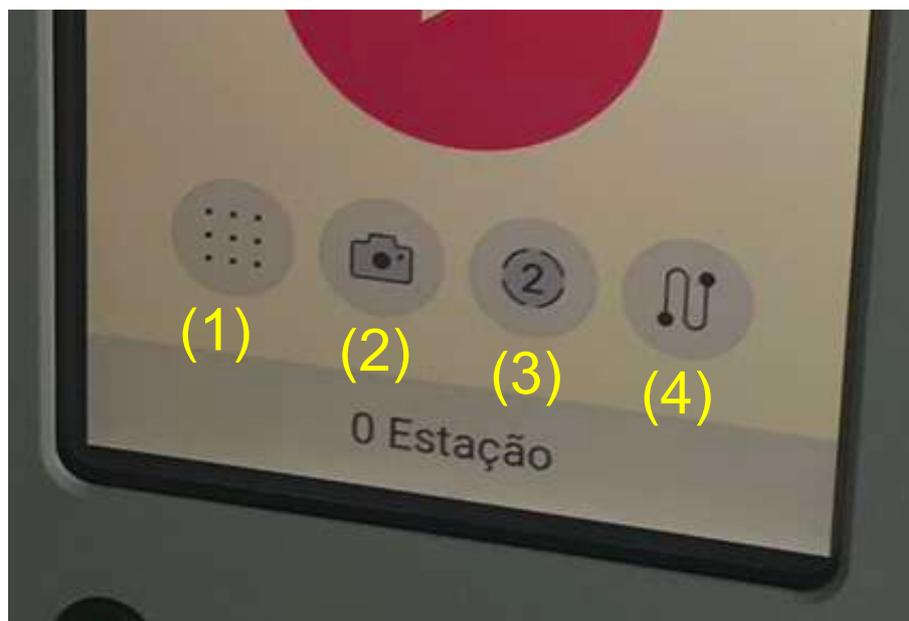


Fonte: acervo do autor

Para dar início ao escaneamento, identificou-se que alguns controles devem ser ajustados previamente pois impactam diretamente no grau de detalhamento da nuvem de pontos. Os controles mencionados podem ser observados na Figura 11. (1) O primeiro controle permitiu a definição da densidade (quantidade de pontos capturados em uma determinada área) da nuvem de pontos, sendo que quanto maior o valor deste parâmetro, maior será a riqueza de detalhes capturada e isto, conseqüentemente, gerará arquivos digitais que exigirão mais espaço de armazenamento. (2) O segundo controle habilitou a captura de fotografias. (3) O terceiro controle habilitou o recurso de escaneamento em duas etapas, de modo a eliminar objetos capturados em apenas um dos passos, como pessoas em movimento durante o processo de escaneamento. Basicamente ele realiza o levantamento da mesma cena duas vezes e mantém apenas na nuvem de pontos apenas os objetos escaneados duas vezes. (4) O quarto controle corresponde ao *VIS – Visual Inertial System*, que auxilia na vinculação entre as cenas capturadas. Este recurso consiste

na fixação automática via câmera em pontos dos objetos capturados de modo a garantir a existência de referências comuns entre as cenas.

Figura 11 – Controles no equipamento de escaneamento a laser para definição da resolução da nuvem de pontos e outros



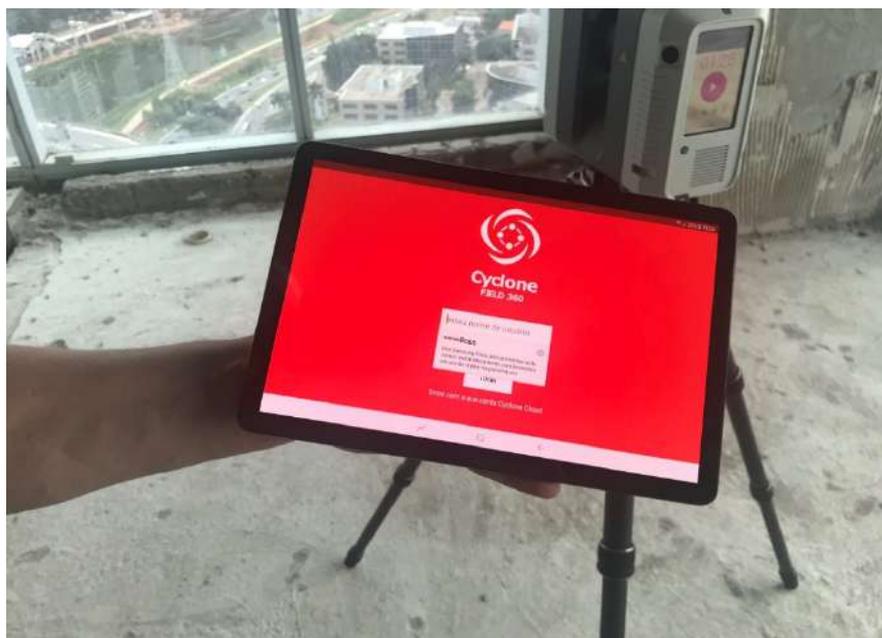
Fonte: acerto do autor

Ressalta-se que os equipamentos de escaneamento a *laser* que não dispõem deste recurso utilizam outros métodos de relacionamento das cenas capturadas. Os métodos são: (a) por esfera, em que esferas de acrílico são convenientemente posicionadas em pontos estratégicos e comuns a cenas distintas, (b) por *target*, cujo princípio de funcionamento se assemelha ao de esferas porém as referências utilizadas são figuras específicas e reconhecíveis pelo equipamento impressas em folhas comuns que funcionam como marcadores, (c) *cloud to cloud*, em que os próprios pontos das nuvens funcionam como referências para união de cenas distintas, devendo haver pontos em comum para que seja possível o relacionamento, (d) *GNSS* ou *Global Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação Global por Satélite), em que é necessária a realização em ambiente externo para visibilidade dos satélites, limitando, portanto, a abrangência de aplicação deste método.

Alguns equipamentos permitem a realização do acompanhamento em tempo real do levantamento via *tablet*, conforme pode ser observado na Figura 12, sendo possível a navegação na nuvem de pontos recém gerada e registro das cenas previamente não sendo necessário aguardar a conclusão do levantamento de todas

as cenas para posterior análise do material gerado em um computador. Deste modo torna-se mais eficiente o processo de escaneamento dado que eventuais erros ou omissões podem ser rapidamente corrigidos com a repetição do mapeamento da cena analisada atentando-se aos critérios de levantamento que eventualmente tenham sido negligenciados.

Figura 12 - Tablet com aplicação para visualização em tempo real do levantamento



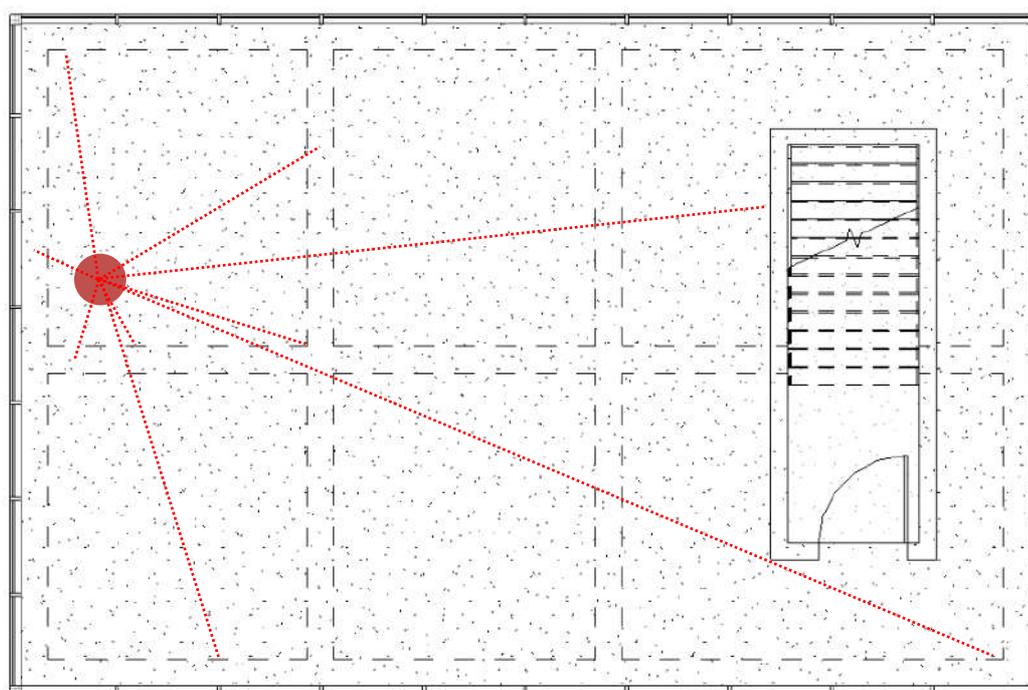
Fonte: acervo do autor

Para a definição da posição da cena inicial o profissional deve se certificar de que o equipamento de escaneamento a *laser* terá visibilidade dos elementos desejados para o levantamento. Esta determinação é realizada visualmente após o posicionamento do equipamento na região da primeira cena conforme exemplo indicado pela Figura 13. A alocação defasada em relação às projeções de vigas proporciona uma captura mais completa destes elementos estruturais dada a preservação da visibilidade das faces vertical e horizontal de uma determinada viga.

Isto reforça a necessidade da definição de um escopo consistente, com objetivos claros, para que o potencial da tecnologia possa ser alcançado na totalidade. Um empreendimento em obras poderá conter uma série de elementos temporários como escadas, equipamentos de apoio as tarefas inerentes a obra, materiais que podem vir a obstruir a visibilidade dos componentes que efetivamente seriam escaneados, portanto a atividade de escaneamento a *laser* deve constar no

planejamento global de execução bem como do plano logístico do empreendimento para proporcionar as melhores condições possíveis de segurança, visibilidade e *timing*.

Figura 13 - Planta genérica explicativa para posicionamento do equipamento

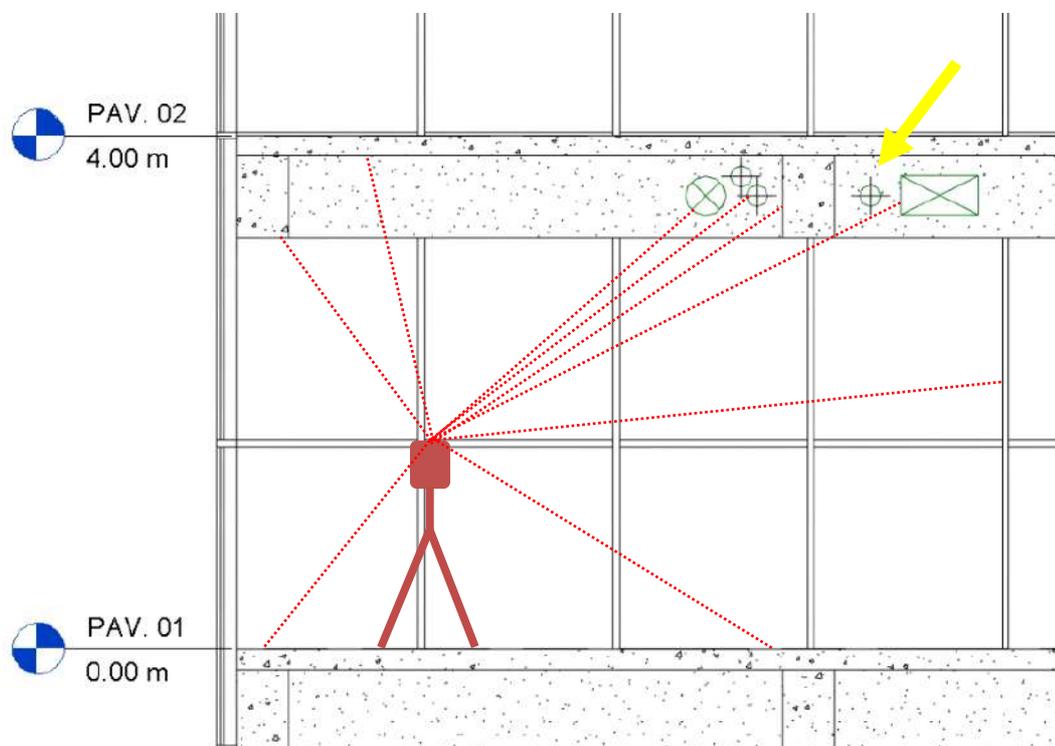


Fonte: acervo do autor

Um posicionamento de cena realizado incorretamente pode gerar sombras na nuvem de pontos e impedir o levantamento de regiões que podem vir a ser importantes para um determinado uso daquela nuvem. Na Figura 14 é possível observar um exemplo de sombra em que o tubo apontado está fora da zona de visibilidade do equipamento (uma viga é oculta). Para que este tubo seja escaneado, uma segunda cena mais à direita deverá ser realizada.

Outro aspecto importante identificado neste estudo de caso, a que se deve dar a devida atenção, é a presença de poças de água resultantes do acúmulo de chuvas ou remanescentes de processos construtivos. Regiões cobertas por água não são escaneadas pois o comprimento de onda utilizado por estes tipos de equipamentos não é capaz de permitir a reflexão do feixe de luz pela água. Grandes acúmulos de água em lajes podem inviabilizar o escaneamento para fins de verificação de desvio de nível. O resultado de um mapeamento nestas condições é a geração de uma nuvem de pontos com aberturas (ausência de pontos) nas regiões onde havia água.

Figura 14 – Corte genérico explicativo para posicionamento do equipamento e indicação da varredura do ambiente pelo *laser* e omissão de objetos (tubulação indicada) em virtude da posição do equipamento



Fonte: acervo do autor

Fato semelhante ocorre na presença de vidros. Caso o escaneamento destes elementos seja crucial para um levantamento, algumas soluções podem ser adotadas, como a colagem de adesivos ou pulverização de particulado leve sobre a superfície deles fazendo com que o feixe de luz colida com a face do adesivo ou sobre o material pulverizado e retorne ao equipamento, registrando a posição do vidro propriamente dito.

Após a conclusão do levantamento de todas as cenas necessárias para o completo mapeamento de todos os elementos desejados, os arquivos digitais são transferidos para um computador e carregados em ferramenta computacional especificamente desenvolvida para o tratamento dos arquivos brutos gerados pelo equipamento de escaneamento a *laser*.

Figura 15 - Posicionamento inicial do equipamento para o início do escaneamento



Fonte: acervo do autor

As nuvens de pontos geradas neste tipo de levantamento costumam ter de algumas dezenas de *megabytes* a algumas centenas de *gigabytes* e o que irá definir a dimensão dos arquivos será essencialmente a área total levantada, a densidade de pontos definida no início do mapeamento e o grau de complexidade geométrico do ambiente levantado em conjunto com a quantidade de elementos presentes na cena.

Em uma aplicação como o *Cyclone Register 360*, desenvolvido pela *Leica Geosystems*, cuja função é a de manipulação, tratamento e ajustes gerais e específicos da nuvem de pontos, um projeto é criado com o carregamento dos arquivos brutos de nuvens de pontos. Assim como no caso apresentado, em geral, é necessária mais de uma cena para a captura de todos os objetos desejados em um ambiente. Para que se obtenha uma nuvem de pontos unificada é necessário realizar o registro, processo de amarração e costura das cenas independentemente escaneadas e esta amarração é baseada na sobreposição das cenas, ou seja, elementos em comum em ambas as cenas como um conjunto de paredes, vigas, trechos de um caixilho ou qualquer outro conjunto de objetos que sejam observados nos dois levantamentos.

A precisão inicial deste levantamento foi de 1 milímetro, ou seja, espera-se um desvio do levantamento em relação a realidade de no máximo a referida medida.

Um baixo percentual de “força” (tradução do termo em inglês) pode indicar o fraco relacionamento entre as cenas, o que pode ser observado na Figura 16 em que a “força”, no início do processo de registro, era de 44%.

Figura 16 - Processo de registro das cenas no Cyclone Register 360

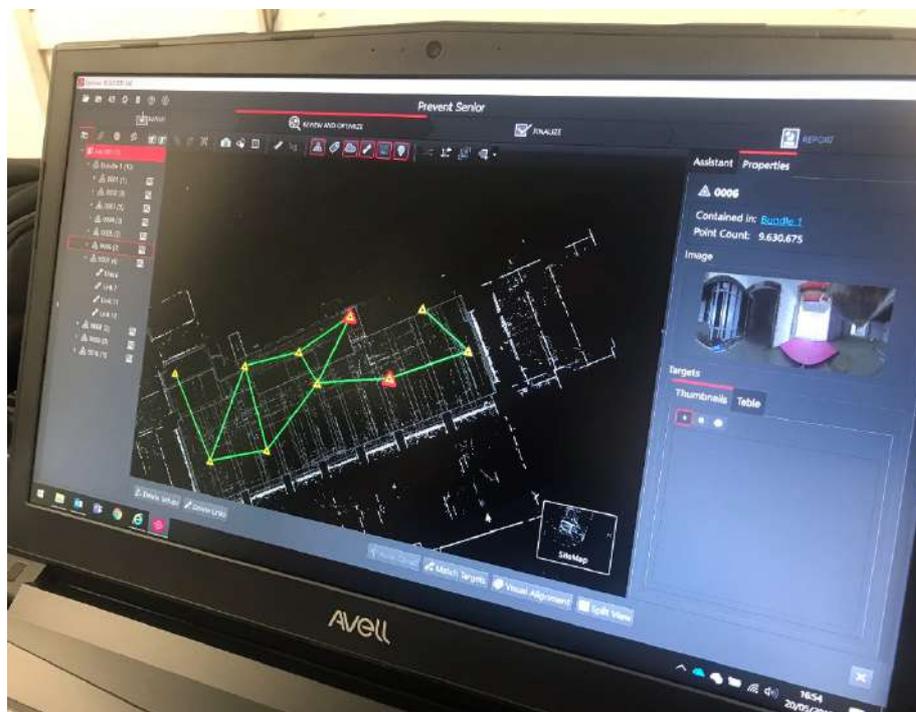


Fonte: acervo do autor

* Observação: Ao centro da Figura 16, o leitor pode tomar ciência da planta do levantamento realizado. Os triângulos na cor vermelha representam a posição de cada cena. As linhas na cor verde que conectam as cenas, indicam a amarração entre elas. No painel à direita a ferramenta indica o percentual de sobreposição geral, 46%, em que o fabricante recomenda em torno de 50%, a precisão de 1 milímetro e a força, em amarelo, de 44% indicando um ponto de atenção.

Para melhorar a “força” de relacionamento entre as cenas, busca-se a amarração de uma com múltiplas outras cenas, Figura 17. Este processo é parcialmente automatizado pela ferramenta devendo o usuário apenas informar quais cenas deseja amarrar.

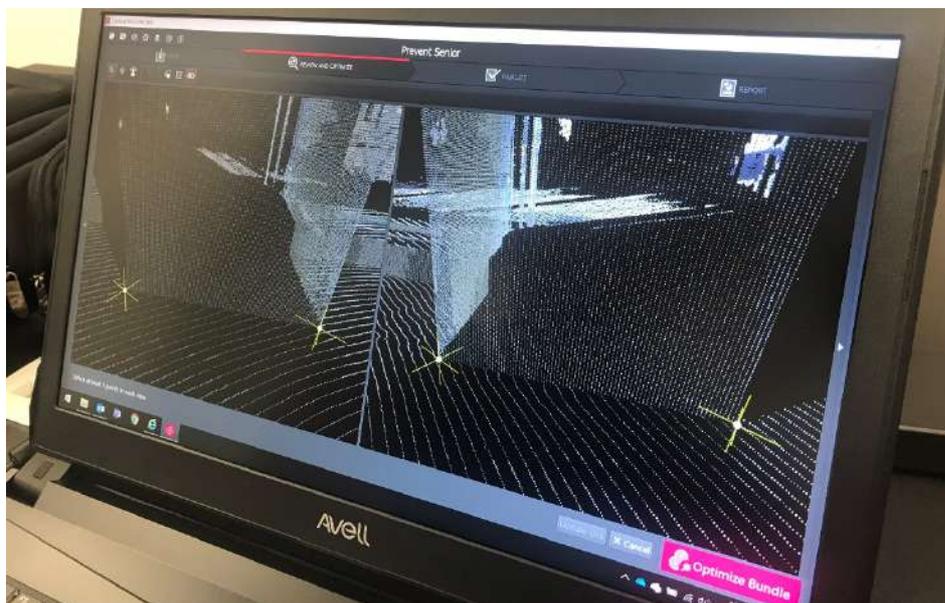
Figura 17 - Processo de amarração de uma cena a outras cenas para garantir a consistência da nuvem



Fonte: acervo do autor

Há situações em que a ferramenta não terá sucesso na amarração automatizada entre algumas cenas impedindo a elevação do grau de “força” geral da nuvem de pontos. Para estes casos existem recursos manuais que permitem ações diretas do usuário para realização da amarração. Na Figura 18, o leitor poderá verificar a presença de duas telas, sendo cada uma representada por uma cena em particular. Em cada uma destas cenas foram posicionados dois marcadores que indicam as referências de amarração entre ambas as cenas. O posicionamento destes marcadores depende única e exclusivamente da capacidade do usuário de localizar dois pontos em comum entre as cenas.

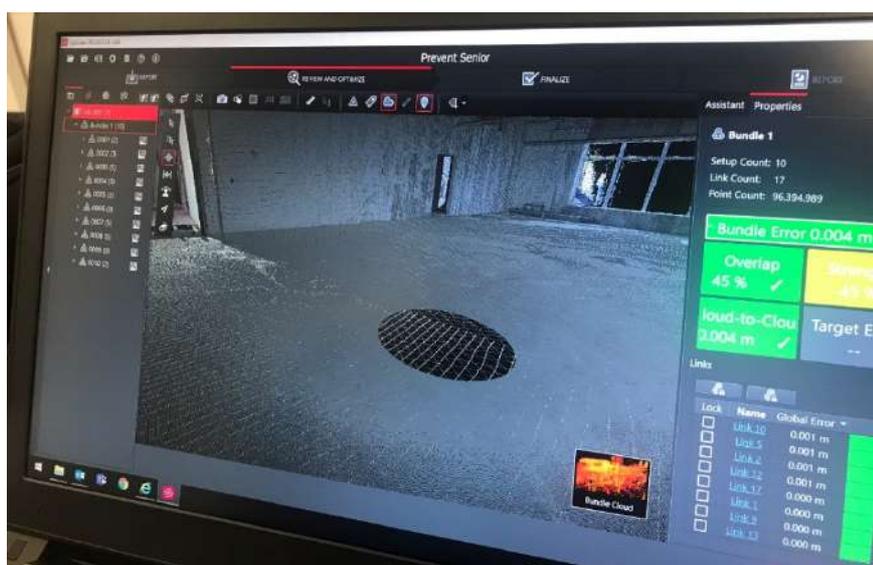
Figura 18 - Processo de amarração manual *cloud to cloud*



Fonte: acervo do autor

Neste levantamento ainda, identificou-se que os equipamentos de escaneamento a *laser* geram áreas de sombra sob si mesmos, Figura 19. A única forma possível de se escanear a região abaixo destes equipamentos é com a realização de uma nova cena em local próximo ao original para que a sobreposição de ambas preencha as lacunas criadas.

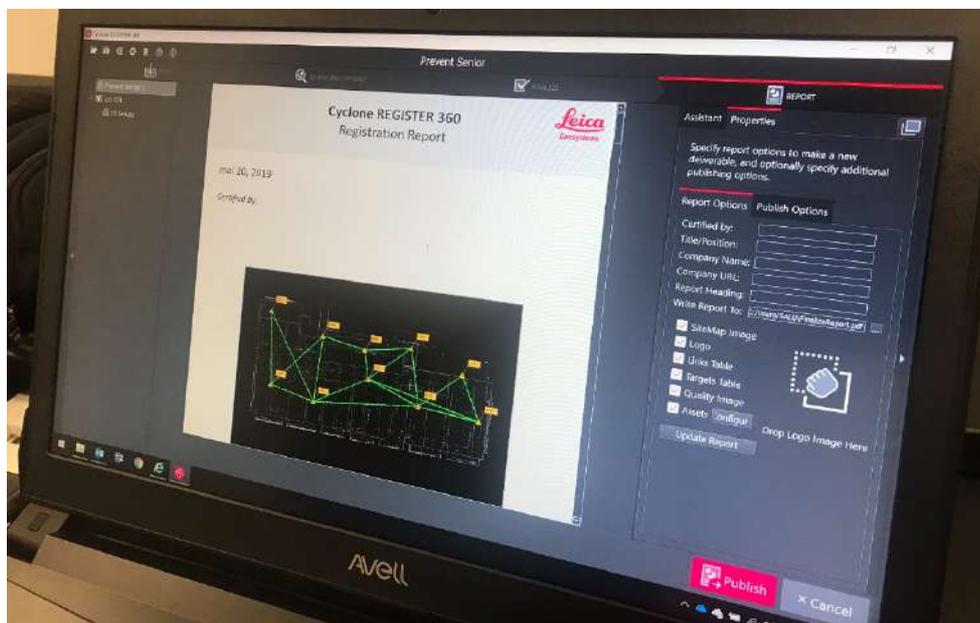
Figura 19 - Zona de sombra gerada pelo *laser scanner*



Fonte: acervo do autor

A geração de um relatório de registro foi a última etapa do processo de tratamento da nuvem de pontos, vide Figura 20.

Figura 20 - Relatório de registro gerado pela ferramenta Cyclone Register 360



Fonte: acervo do autor

4.3. EDIFÍCIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Outro estudo de campo ao qual este autor teve acesso foi o realizado em parceria entre a empresa Trimble e o departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, para escaneamento a *laser* da fachada e interiores do edifício da própria faculdade por profissionais da empresa com o acompanhamento do Prof. Dr. Fabiano Corrêa, Figura 22 e Figura 23.

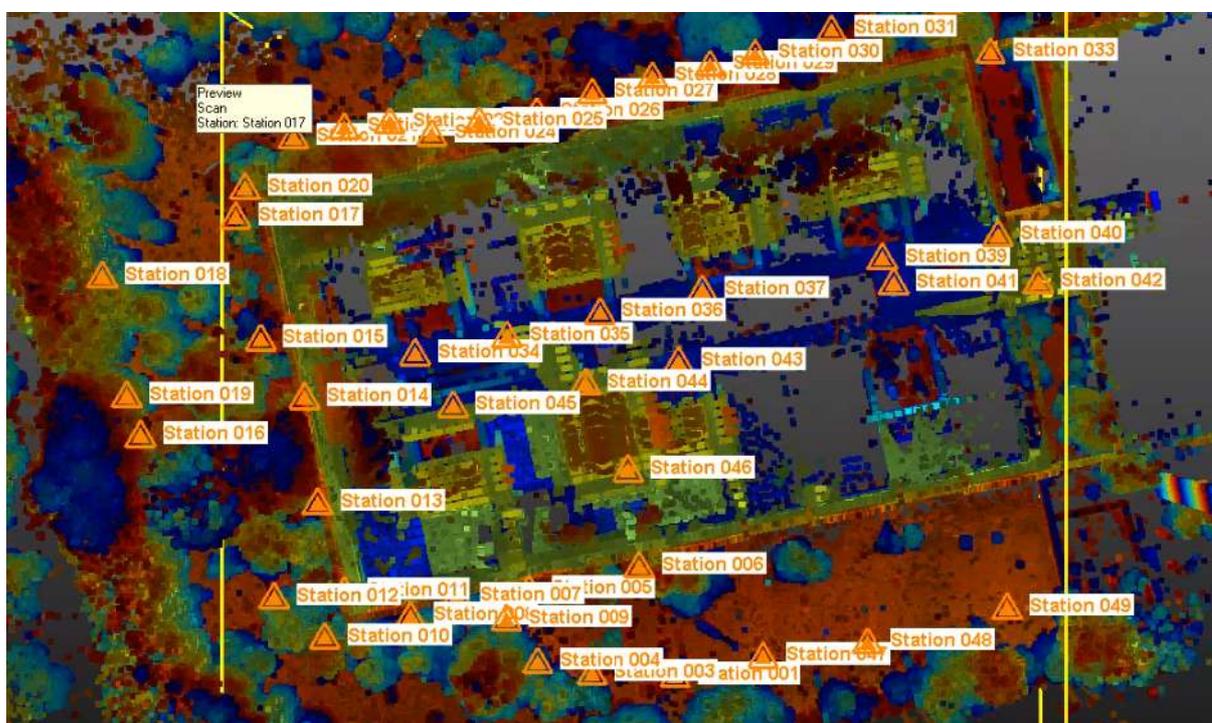
Este mapeamento teve como objetivo a geração de uma referência tridimensional para o futuro desenvolvimento de um modelo da informação da construção do próprio edifício por parte dos alunos da graduação. Segundo o Prof. Corrêa, em um primeiro momento os alunos utilizaram plantas em 2D como referência para este trabalho, sendo que a nuvem de pontos poderá fazer parte do processo no futuro.

Ele relata também que para a finalidade a que se destinava esta nuvem de pontos, em que não haveria a necessidade de uma modelagem com precisão

milimétrica para representação fiel a construção existente, não houve um planejamento detalhado para a realização do mapeamento. Esta condição, aliada a realização do levantamento por profissional experiente, permitiu a ausência de planejamento detalhado deste processo. O Prof. Corrêa indica ainda que o equipamento dispunha de recursos para pré-visualização do produto gerado, o que permitiria, no curso do mapeamento, a constatação de que a nuvem de pontos gerada estava dentro dos padrões necessários para a consolidação de todas as cenas posteriormente.

Outro ponto destacado por ele em relação ao processo de levantamento foi o desgaste físico do profissional responsável pelo levantamento proporcionado pelo peso do equipamento, que gira em torno de 5 quilos, e que necessitou ser transportado e posicionado sobre o tripé nas 46 posições (cenas) levantadas, Figura 21.

Figura 21 – Planta (plano horizontal térreo) do edifício da Faculdade de Engenharia Civil da USP com a indicação das 46 cenas obtidas para geração da nuvem de pontos



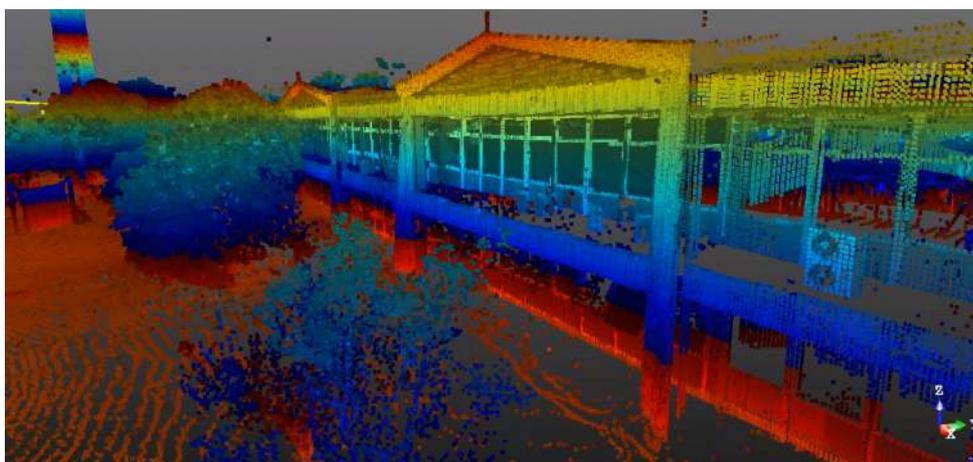
Fonte: Trimble

O Prof. Corrêa aponta ter havido razoável facilidade da aquisição dos dados do ponto de vista de manipulação do equipamento, visto que marcadores externos não foram necessários, porém destaca que a utilização da ferramenta computacional de

registro exige um treinamento inicial para operação dada a complexidade da atividade como também apontado pelo autor deste trabalho.

O autor questionou o Prof. Corrêa à cerca da possibilidade de ter havido a realização deste levantamento com fotogrametria em vez do escaneamento a *laser* e a resposta foi positiva dada a finalidade e rigor de precisão necessário para este trabalho, porém ele aponta a necessidade de acesso à ferramenta computacional de sobreposição das fotografias e *expertise* para operação dela. Como já apontado por este autor, a fotogrametria é uma tecnologia menos onerosa em relação ao escaneamento a laser e que para aplicações com baixa exigência de precisão geométrica pode ser perfeitamente empregada em diversas situações.

Figura 22 - Fachada do edifício da Faculdade de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP no formato de nuvem de pontos com diferenciação cromática em função da elevação de cada ponto



Fonte: Trimble

Figura 23 – Fotografia da vista externa do edifício da Faculdade de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP



Fonte: imagem extraída de visualização via StreetView da Google

5. RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE MODELAGEM E ESCANEAMENTO PARA A SUA EFETIVA INTEGRAÇÃO

O escaneamento a *laser* deve ser compreendido como uma ferramenta de medição e, como toda ferramenta de medição, mesmo as mais simples como as trenas, ele exige rigor e uma série de critérios de utilização para que a leitura da medida corresponda, de fato, à realidade. No caso da nuvem de pontos, que é o produto de um escaneamento a *laser*, como o leitor já pôde observar, não há medidas que informem comprimentos, áreas ou volume mas sim, a representação fiel do ambiente levantado na forma de milhões de pontos dispostos no espaço que, juntos, representam a geometria dos elementos levantados. Tendo isto em vista, o autor elencou algumas recomendações para que o processo de utilização de uma nuvem de pontos em conjunto com um modelo da informação da construção seja efetivo.

5.1. RECOMENDAÇÕES OPERACIONAIS

Os aspectos ligados ao *mindset* dos profissionais envolvidos direta e indiretamente devem ser cuidadosamente analisados para que a implementação da tecnologia de escaneamento a *laser* em uma empresa seja efetiva. Como observado por Luiz Henrique Ceotto em entrevista realizada pelo autor, há profissionais do setor da construção civil que desconhecem os princípios e conceitos da tecnologia e, talvez justamente em função disso, questionam a confiabilidade e precisão dela, apoiando-se em outras tecnologias já consolidadas, como levantamentos topográficos. Lúcio Soibelman, também em entrevista realizada pelo autor, destaca a necessidade de desenvolvimento, no Brasil, de práticas de autodidatismo por parte dos profissionais do setor da Construção Civil para que a assimilação de novas tecnologias se torne atividade recorrente no dia-a-dia deles, buscando a ampliação do conhecimento de toda a indústria visto que em outros países, como nos EUA, esta conduta está presente desde a graduação. Naquele país é comum, segundo Soibelman, a criação de grupos de trabalho nas empresas para a implementação de novas tecnologias sem a necessidade de contratação de consultorias externas. Estes grupos se tornam responsáveis, por um período determinado, pela busca e assimilação de conhecimentos novos à empresa para posterior disseminação.

No processo de escaneamento a *laser* (levantamento, tratamento, consumo), o tratamento é etapa de maior complexidade dado o volume de interferências humanas no procedimento de “limpeza” da nuvem (erros podem suprimir indevidamente objetos de grande relevância no levantamento) e de “registro” dos dados (erros podem distorcer distâncias e posições de objetos relativamente a outros). Isto posto, o profissional responsável pelas atividades de tratamento deve ter perfil orientado a detalhes e com conhecimentos de construção para leitura e interpretação da nuvem de pontos e reconhecimento dos elementos ali dispostos, podendo ser um Arquiteto, Engenheiro Civil ou Técnico de/em Edificações, porém com vivência de campo e experiência prática em canteiros. Além disso é importante que este profissional tenha tido contato especificamente com a obra levantada ou, minimamente, participado do levantamento para reconhecer suas características e padrões no modelo a partir da nuvem de pontos.

O processo de escaneamento pode ser terceirizado a empresas especializadas nesta atividade o que, segundo Ceotto, se mostra como uma possibilidade atrativa pois a empresa especializada tenderá, em teoria, a manter um parque de equipamentos atualizado em relação às inovações tecnológicas enquanto a construtora, como contratante do serviço, enfocará nas atividades núcleo relacionadas a construção.

No entanto, uma construtora ainda poderá internalizar o processo de escaneamento a *laser* com a aquisição de um equipamento de escaneamento a laser, caso seu uso seja mais frequente. Neste sentido é fundamental que o departamento responsável pela aquisição, caso não seja o mesmo, faça a análise, em conjunto como departamento de Engenharia (Produção, Planejamento, Projetos), das opções de equipamentos disponíveis no mercado tendo em vista as características técnicas apontadas no capítulo 3.1.

Os objetivos de consumo das nuvens de pontos poderão variar de empresa para empresa e cada objetivo poderá demandar uma especificação técnica de equipamento distinta das demais. Os profissionais da construtora que consumirão a nuvem de pontos e os que executarão o escaneamento propriamente dito deverão passar por um processo de instrução para compreensão dos conceitos ligados à tecnologia (funcionamento e acuracidade), benefícios e, principalmente, das principais diferenças em relação a outras tecnologias de medição.

É necessário também que se defina o grau de precisão necessário para um determinado levantamento, dado que uma nuvem de pontos gerada pelo escaneamento a *laser* é densa, e altamente precisa em relação ao posicionamento dos pontos no espaço tridimensional, o que permite a captura de geometrias complexas com facilidade. Para levantamentos cuja precisão e densidade dos pontos não são importantes, como medições de poucos elementos ou de elementos com baixa complexidade geométrica, recomenda-se a consideração de outros métodos de levantamento de menor complexidade operacional, como o processo tradicional de levantamento (estação total de topografia por exemplo), ou de menor precisão geométrica, como o processo de levantamento fotogramétrico, sendo o primeiro indicado a levantamentos com poucos elementos e o segundo, a levantamentos em que a precisão geométrica não é relevante.

Sugere-se também a criação de procedimentos internos da empresa com orientações e boas práticas para o uso da tecnologia, contendo minimamente os aspectos listados à seguir, baseados no estudo prático desenvolvido pelo autor e nas diretrizes da GSA (U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION , 2009):

- Definição de escopo
 - A definição exata do escopo de levantamento possibilitará visão mais ampla e aprofundada quanto à tecnologia a ser utilizada para o levantamento;
 - O mapeamento dos ambientes e elementos a serem escaneados é fundamental para o estudo do posicionamento do equipamento e identificação de eventuais intervenções a serem realizadas na edificação. Ex.: Em edificações existentes (não em construção), o escaneamento de sistemas prediais ocultos acima de forros somente será possível com a retirada das placas removíveis ou com a demolição do forro de gesso acartonado ou quaisquer outros elementos que obstruam a visibilidade dos objetos alvo, o que deverá ser previamente acordado com a administração do edifício. Na impossibilidade de demolição integral do forro, sugere-se a execução de janelas de inspeção para posicionamento parcial do equipamento no entreforro, sendo necessária a previsão de suporte auxiliar para que o equipamento de escaneamento seja mantido em posição

segura e imóvel, mas ainda numa condição mais improdutiva de coleta de dados, além da possibilidade de serem observados outros obstáculos no entreferro, tais como instalações embutidas ou mesmo trechos da estrutura. Além disso deve-se atentar às distâncias mínimas de escaneamento indicadas pelo fabricante.

- Os objetivos gerais do escaneamento deverão ser definidos e formalmente compartilhados entre todos os envolvidos no processo para que os profissionais responsáveis pelo levantamento tenham uma visão clara do uso da nuvem de pontos. Ex.: Estudo de áreas existentes, captura de detalhes arquitetônicos com geometrias complexas para fins de manutenção, estudo de deformações estruturais, estudo para intervenções arquitetônicas etc.
- Verificar quais formatos de arquivo de nuvem de pontos são aceitos pela(s) ferramenta(s) autoral(is) BIM a serem utilizadas para o desenvolvimento do projeto.
- Etapa de planejamento:
 - Para otimização do tempo total do processo de escaneamento, deve-se planejar o trajeto a ser percorrido previamente a fim de evitar que algumas regiões não sejam escaneadas. É importante destacar que o percentual de sobreposição das cenas (o quanto há de comum entre duas cenas), deve girar em torno de 50%.
 - Observar a distância mínima de escaneamento do equipamento a ser utilizado para evitar que o trajeto planejado se aproxime demasiadamente dos objetos. Recomenda-se o desenvolvimento de uma planta de escaneamento incluindo o estudo do posicionamento de cada cena a ser executada.
 - Para o escaneamento de materiais que refletem a luz de forma especular, como o cobre, tais elementos devem ser revestidos ou pintados caso seu escaneamento seja imprescindível.
- Etapa de escaneamento
 - A luminosidade dos ambientes deve ser suficientemente boa para que a tomada de fotos gere imagens satisfatórias. Para a geração da nuvem de pontos, a luminosidade é irrelevante.

- Acúmulo de água: garantir a remoção de água em regiões em que os elementos cobertos precisam ser escaneados.
- Observar as recomendações deste trabalho à cerca do escaneamento de vidros, item 5.2.
- Caso não seja possível limitar o acesso de pessoas ao local de escaneamento, deve-se ativar o recurso de escaneamento em “dois passos” (ou variações desta terminologia dependendo do fabricante) que realizará o escaneamento da mesma cena em duplicidade, eliminando tudo o que não for coincidente entre ambos os escaneamentos.
- Vibrações poderão gerar erros no levantamento, portanto recomenda-se a interrupção temporária de atividades que possam gerar a movimentação da superfície de apoio do equipamento de escaneamento ou dos objetos alvo.
- Se possível, evitar a realização do escaneamento sob a ação de fortes ventos, que poderão amplificar a margem de erro do levantamento.
- Prever de 1 a 5 minutos para o processo de escaneamento em cada cena (tempo irá variar em função do fabricante e modelo utilizado além das configurações de densidade da nuvem de pontos)
- Ao utilizar equipamentos com controle automático de registro de cenas, deve-se realizar o transporte do equipamento de um ponto para o outro procurando mantê-lo perpendicular ao plano horizontal (a mesma posição utilizada para o escaneamento em si), sem que ele seja encoberto por outros objetos (durante o transporte o equipamento mantém ativamente a visibilidade do ambiente).
- Etapa de tratamento dos dados
 - Prever em torno de 30 minutos para o processamento automático nas ferramentas de registro, que ocorre no carregamento dos dados obtidos do equipamento no computador. Este tempo poderá variar em função da dimensão das nuvens de pontos. Adicionalmente deverá ser previsto o tempo necessário para o tratamento manual da nuvem de pontos podendo variar de alguns minutos a algumas horas

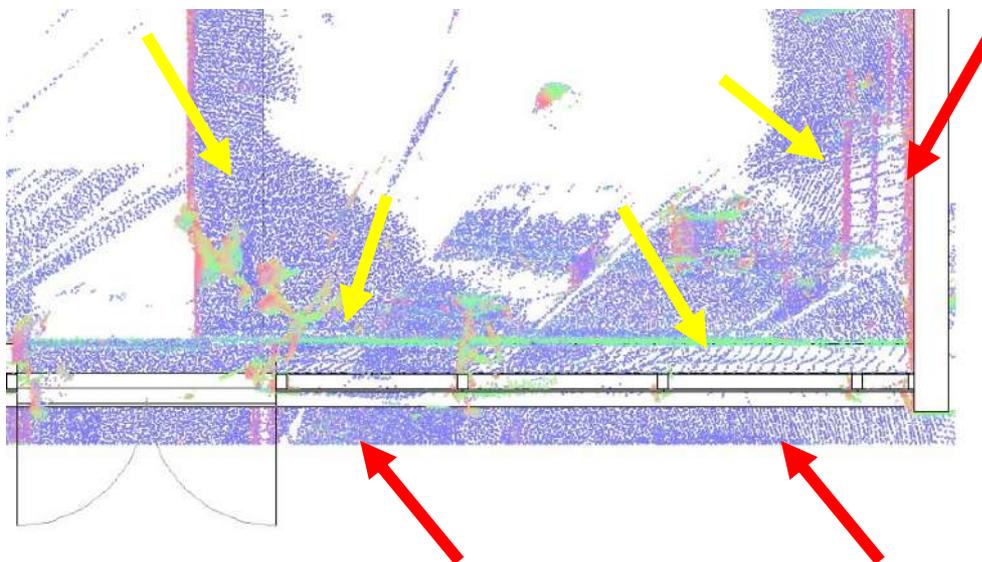
dependendo do grau de refinamento e limpeza esperados do produto.

- Execução do registro automático ou manual das cenas escaneadas, processo em que as nuvens de pontos individuais serão unificadas para a geração de uma nuvem única. Deve-se compreender a necessidade de subdivisão das nuvens de pontos: por pavimento, por setor, por torre, empreendimento completo etc.
- Deve-se prever a modificação das coordenadas da nuvem de pontos para que coincidam com as coordenadas do BIM. O processo de definição das coordenadas dependerá do equipamento utilizado e ferramenta autoral de desenvolvimento do projeto. Algumas soluções como as da FARO oferecem um *add-in* que é operado diretamente de dentro do Autodesk Revit que permite a exportação das coordenadas compartilhadas para que sejam utilizadas na nuvem de pontos de modo a garantir que esta seja compatível com BIM já desenvolvido. Caso a nuvem de pontos tenha sido obtida antes do desenvolvimento de um BIM, é possível obter as coordenadas inerentes a nuvem para o início do desenvolvimento de um BIM. Nos casos em que não houver um recurso para a exportação das coordenadas compartilhadas do BIM para a nuvem de pontos, o usuário deverá criar pontos de controle para alinhamento manual entre o BIM e a nuvem de pontos.
- Recomenda-se fortemente a verificação da consistência e precisão da nuvem de pontos gerada baseando-se na comparação da medição de distâncias entre objetos, na nuvem de pontos, e a obtida em outro método, como o tradicional por topografia. É importante, após a conclusão dos procedimentos de registro da nuvem de pontos, gerar um relatório com o apontamento da precisão da nuvem, para que os consumidores deste produto compreendam qual a margem de erro a ser considerada. Ressalta-se que as ferramentas de registro contam com recursos para a criação deste tipo de relatório.

- Etapa de vinculação do BIM

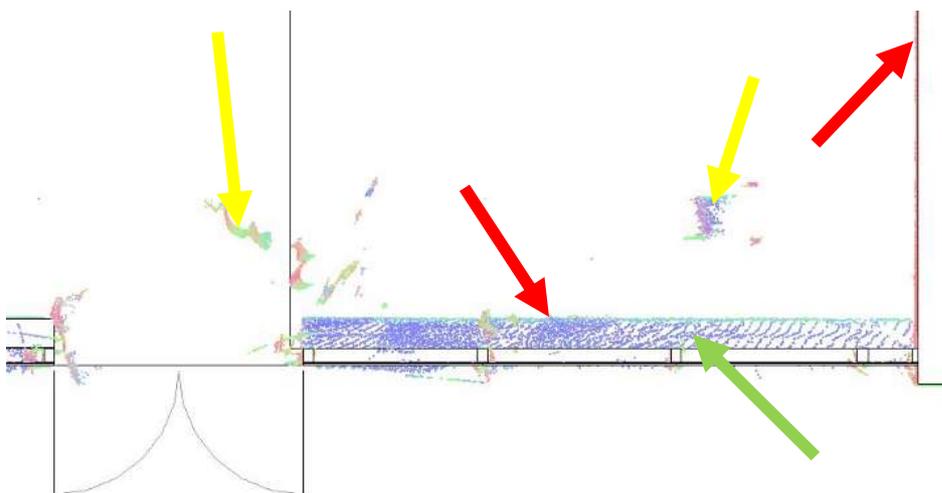
- Dependendo a que se destina a nuvem de pontos gerada, o usuário deste produto poderá utilizá-lo basicamente em duas situações:
 - ◆ Criação de um BIM – *não sendo este o foco deste trabalho* ou
 - ◆ Atualização/conferência de um BIM.
- A vinculação da nuvem de pontos em um BIM deve respeitar as coordenadas de origem (nuvem de pontos) e de destino (BIM).
- A atualização e/ou conferência do BIM baseadas na nuvem de pontos deverá ser realizada por profissional das áreas de Arquitetura e/ou Construção Civil para que seja potencializada a qualidade da interpretação e conversão da nuvem de pontos em elementos de modelo no BIM. Esta manipulação pode e deve ser controlada com o objetivo de facilitar a leitura do espaço escaneado sendo que a visualização de uma planta com a visibilidade integral da nuvem de pontos, Figura 24, pode dificultar esta leitura (o plano de corte horizontal da planta foi definido a 1,20 m do piso acabado com visibilidade dos pontos até o nível do próprio piso acabado, gerando uma faixa horizontal de visualização dos pontos de 1,20 m de altura). Já na Figura 25, torna-se mais fácil a interpretação do espaço, já que o plano de corte horizontal de representação desta planta foi definido a 1,50m, com visibilidade dos pontos até 1,20 m (ambos do piso acabado), gerando uma faixa horizontal de visualização dos pontos de 30 cm de altura, limitando, portanto, a visibilidade de pontos relativos a faixa do piso. Assim, a nuvem de pontos continua carregada de forma integral no modelo porém apenas os pontos contidos nesta faixa serão exibidos, permitindo uma melhor leitura do objeto.

Figura 24 - Trecho de uma planta de uma edificação modelada em BIM com sobreposição da nuvem de pontos gerada para o mesmo local com ampla visibilidade dos pontos



Legenda: Setas amarelas indicam regiões cujos pontos relativos ao piso estão visíveis. Setas vermelhas indicam faixa de pontos que representam as superfícies verticais.

Figura 25 - Trecho de uma planta de uma edificação modelada em BIM com sobreposição da nuvem de pontos gerada para o mesmo local com visibilidade dos pontos reduzida para melhor visualização



Legenda: Setas amarelas indicam regiões com pontos em cota de nível superior ao do piso e que, devem ser analisadas. Setas vermelhas indicam faixa de pontos que representam as

superfícies verticais. Setas verdes indicam superfícies horizontais em cota de nível superior ao do piso, possivelmente do topo de uma mureta.

Além da importância de se definir adequadamente o escopo de um projeto de escaneamento, para sua eficácia, deve-se ainda dar devida atenção à realização de protótipo já que as aplicações desta tecnologia podem direta ou indiretamente gerar impactos no custo e prazo de obra. Assim, é imprescindível que os profissionais envolvidos (após treinamento), sejam submetidos a simulações para colocarem em prática o conhecimento assimilado antes de iniciarem o uso em situações reais em escala de protótipo, e que os levantamentos sejam objeto de auditoria permanente e amostral, até que se tornem parte da cultura da companhia.

Como todo equipamento está sujeito a apresentação de defeitos que podem levar a redução da qualidade do produto gerado, especialmente os que estão expostos a ambientes hostis a dispositivos eletrônicos, como os equipamentos de escaneamento a *laser*, recomenda-se a realização da calibração periódica dos componentes (de acordo com orientações do fabricante) para garantia de preservação das especificações técnicas do equipamento e consequente conservação da acuracidade das nuvens de pontos geradas.

Adicionalmente às questões levantadas anteriormente, é fundamental que a cadeia de projetistas também seja capacitada para o consumo de nuvens de pontos uma vez que os processos em BIM proporcionam fluxos de trabalho cíclicos de modo que os escaneamentos a *laser* realizados na etapa de execução de um empreendimento poderão retornar aos projetistas para as devidas adequações dos projetos. O projetista precisa compreender o grau de detalhamento e precisão inerente a uma nuvem de pontos para que ele tenha condições de extrair do levantamento apenas aquilo que for pertinente à atividade dele.

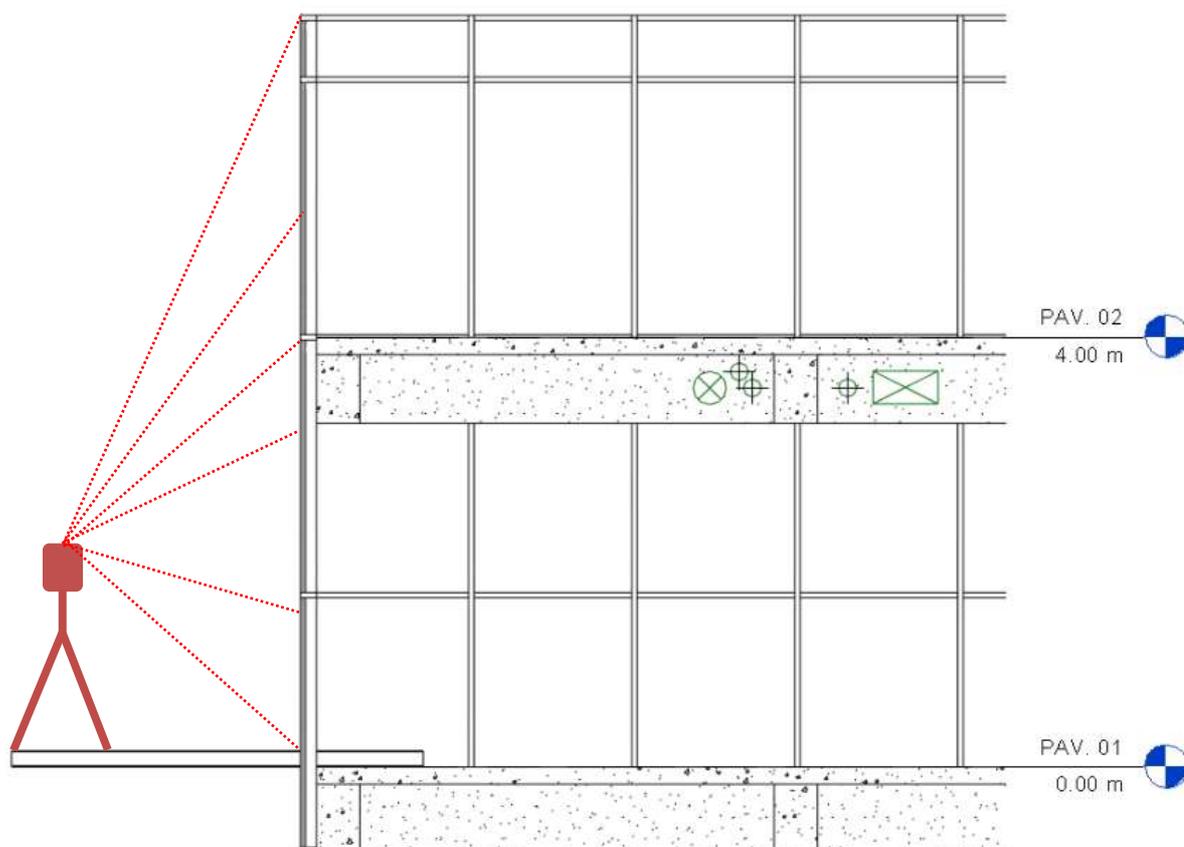
O escopo de contratação dos projetistas deverá incluir a necessidade de manipulação de nuvens de pontos para que esta atividade não seja cobrada em aditivos contratuais. Como parte deste escopo devem estar contempladas como obrigações do projetista (1) a verificação da correta conciliação da nuvem de pontos com o modelo da informação da construção, (2) a adequação do modelo da informação da construção às condições mais atuais do executado no canteiro.

5.2. TECNOLOGIAS NECESSÁRIAS PARA ADOÇÃO DO LASER SCANNER

A geração de nuvens de pontos brutas depende exclusivamente de um equipamento do tipo *LiDAR (Light Detection And Ranging)*. No entanto, para o tratamento e conferência da nuvem de pontos, com o registro das cenas, limpeza e remoção de *spikes* (indevido espelhamento de pontos resultando em manchas na nuvem que não representam a realidade) e objetos indesejados é necessária a aquisição de ferramenta computacional específica de cada fabricante.

Estas aplicações proprietárias são capazes de ler diversos formatos de arquivos oriundos de equipamentos de escaneamento a *laser* sendo os mais comuns o “PTS”, “LAS” e o “E57” porém diversos outros formatos também poderão ser utilizados. Atualmente as ferramentas mais conhecidas são, em ordem alfabética, o *Cyclone* da *Leica Geosystems* (utilizado no estudo de caso deste trabalho), o *Pointools* da *Bentley*, o *RealWorks* da *Trimble*, o *ReCap* da *Autodesk*, o *RiSCAN PRO* da *Riegler* e o *Scene* da *Faro*. É importante que a escolha da ferramenta esteja alinhada às ferramentas autorais utilizadas para o desenvolvimento dos projetos para facilitar a interoperabilidade, sendo necessário constatar quais formatos de arquivo são exportados pelo equipamento de escaneamento a *laser*, quais são importados e exportados pelas ferramentas de registro de nuvens de pontos e quais são importados pelas ferramentas autorais. Desta forma não será necessário recorrer a métodos intermediários de conversão de arquivos.

Embora não seja essencial para a realização do escaneamento, durante esta etapa o profissional pode utilizar um *tablet* para acompanhamento e conferência em tempo real de cada cena mapeada. Este procedimento permite que o profissional localize eventuais pontos de obstrução que tenham impedido o escaneamento de elementos importantes para o levantamento. Este recurso se faz relevante no caso em que a liberação do espaço para o escaneamento é restrita em função das atividades em curso da obra e um eventual retorno para um novo escaneamento se tornaria dificultoso e no caso em que a quantidade de elementos (instalações prediais, estrutura e elementos arquitetônicos) seja grande fazendo com que a verificação visual prévia para posicionamento do equipamento não garanta que todos os elementos serão mapeados.

Figura 26 - Posicionamento de *laser scanner* externamente

Fonte: acervo do autor

Cada equipamento de escaneamento a laser tem uma distância máxima de medição específica, isto é, objetos posicionados além daquela distância não serão escaneados e esta é uma das razões pelas quais são necessários múltiplos levantamentos em empreendimentos cujas dimensões excedem as limitações do equipamento de medição, no entanto esta barreira cria um desafio para o levantamento de fachadas de edifícios com altura superior a distância máxima de medição de um dado equipamento. A distância máxima de medição do RTC360, modelo da *Leica Geosystems* utilizado no estudo de caso deste trabalho, é de 130 metros, porém é importante destacar que à medida em que o objeto se afasta do equipamento a resolução (ou precisão) do levantamento sofre perdas. Para este equipamento o fabricante informa uma resolução de 3 milímetros a 10 metros de distância com um alcance máximo de 65 metros ou 6/12 milímetros de resolução (o usuário tem a opção de definir a resolução desejada) a 10 metros de distância com um alcance máximo de 130 metros. Logo, para edifícios altos, não é recomendado o

escaneamento da fachada na totalidade com uma única cena. Recomenda-se, portanto, o faseamento do levantamento da fachada em múltiplas cenas, porém é evidente que o *scanner* deve ser posicionado externamente ao edifício para a realização da varredura. Deste modo se faz necessária a previsão de instalação de suportes temporários, vide exemplo da Figura 26, para o posicionamento do equipamento.

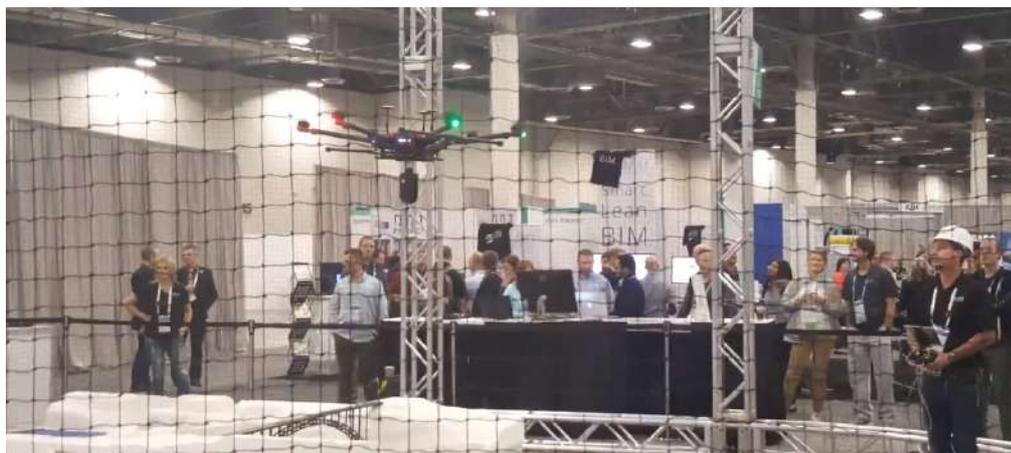
A utilização de *drones*, espécie de Veículo Aéreo Não Tripulado ou Remotamente Pilotado (VANT ou VARP, do inglês *UAV - Unmanned Aerial Vehicle*), tem sido frequentemente empregada em diversos setores da economia como em cobertura de reportagens televisivas, controle aéreo de rodovias federais dentre outros usos. Na indústria da Construção Civil, segundo Lúcio Soilbelman em entrevista realizada com o autor disponível nos Apêndices deste trabalho, já há histórico de utilização de drones com equipamentos de escaneamento a laser acoplados para escaneamento de empreendimentos. O autor não localizou referências sobre a precisão e qualidade da nuvem de pontos gerada a partir de um levantamento em movimento. Em evento de divulgação de inovações e tendências tecnológicas da Autodesk em Las Vegas / EUA, o *Autodesk Universitye 2017*, a empresa NOAR Technologies em parceria com a empresa DJI apresentaram a utilização de um drone com um equipamento de escaneamento a *laser* da Leica Geosystems acoplado, o BLK360, vide Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 - Drone com escaneamento a *laser* com o Leica BLK360 no Autodesk University de 2017 em Las Vegas



Fonte: Autodesk Infrastructure – canais digitais

Figura 28 - Apresentação de drone em movimento com escaneamento a *laser* com o Leica BLK360 no Autodesk University de 2017 em Las Vegas



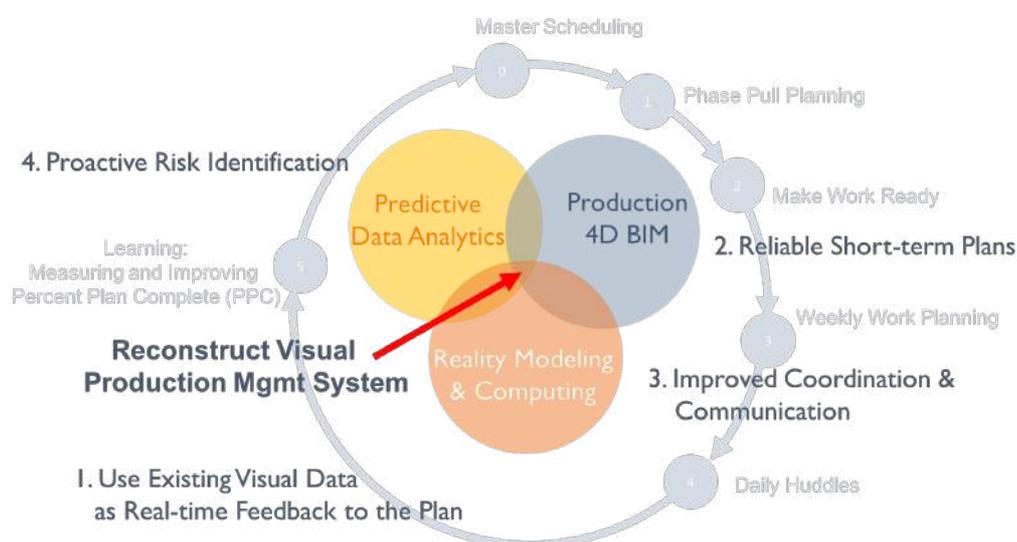
Fonte: Autodesk Infrastructure – canais digitais

5.3. GERENCIAMENTO DE OBRAS COM APOIO DE ESCANEAMENTO A LASER

As atividades de controle e planejamento são de suma importância para qualquer profissional diretamente ligado a obra e as iniciativas que visam proporcionar melhorias nestes quesitos costumam ser adotadas. A tecnologia de escaneamento a *laser* auxilia no controle do progresso físico na medida em que um registro fiel do executado em campo é coletado para ser comparado ao BIM e sequenciamento 4D. O desafio que se coloca está relacionado à frequência de atualização do controle do progresso físico que se espera pois esta será a frequência de realização dos escaneamentos. Para atualizações diárias no progresso físico, devem ser realizados escaneamentos diariamente. Como destacado por Soibelman, em entrevista realizada pelo autor, deve-se avaliar se o custo deste controle será inferior ao custo de não se ter o controle nessas condições o que, segundo ele, é de difícil mensuração.

Soibelman ainda aponta que para finalidades que não exigem muita precisão geométrica no levantamento, a tecnologia de fotogrametria deverá suprir as necessidades da obra. Segundo a McKinsey&Company, alguns fatores são os responsáveis por falhas no acompanhamento do progresso de uma construção, como “relatórios de acompanhamento inconsistentes, comunicação inadequada, falhas no planejamento de curto prazo, ausência ou falhas de ligação do planejamento com o acompanhamento real” dentre outros. Com foco nestas deficiências, a empresa norte-americana *Reconstruct Inc* desenvolveu uma solução baseada na web de acompanhamento do progresso físico, o Reconstruct VizMAP, com sobrevoos de *drones* com tecnologia de fotogrametria. O modelo tridimensional baseado em fotos gerado é associado ao BIM e com a vinculação de um cronograma se torna possível a visualização dinâmica do progresso físico em tempo real.

Figura 29 – Fluxo de funcionamento da solução web, de rastreamento do progresso físico de uma construção, desenvolvida pela Reconstruct Inc.



Fonte: Medium - <https://medium.com/reconstruct-inc/construction-progress-tracking-pain-points-reconstructs-solution-d3b94c3330ef>

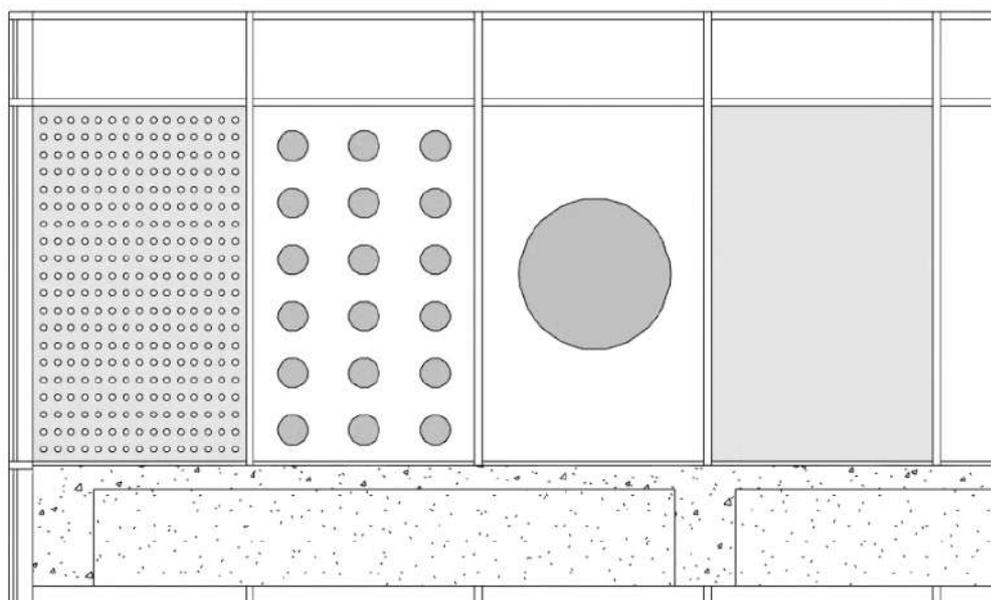
Para assegurar o cumprimento de um cronograma de obras, adicionalmente, deve ser levado em consideração a gestão da qualidade, principalmente, o acompanhamento da qualidade das tarefas que estão no caminho crítico, pois falhas na qualidade podem gerar descolamentos de prazo. É fato que a tecnologia de escaneamento a *laser* amplifica a capacidade deste controle.

Em processos que demandam maior grau de precisão, este controle de qualidade assume papel ainda mais relevante, como no caso da pré-fabricação. Isto posto, é preciso compreender a lacuna existente entre os ambientes: fabril e o canteiro de obras. Uma obra de um determinado empreendimento que contrata a execução de elementos pré-fabricados e que dependem das medidas de elementos previamente executados em canteiro, deve fornecer as medidas *as-built* ao fabricante para que os devidos ajustes em projeto sejam realizados para posterior fabricação. O escaneamento a *laser* atuará como ponte entre aqueles dois ambientes, fornecendo ao fabricante as medidas exatas a serem adotadas nos componentes construtivos a serem executados. O cenário oposto também é válido: um fabricante de elementos estruturais de aço, por exemplo, com formas complexas poderia adotar como padrão o escaneamento a *laser* da peça fabricada para que o contratante compatibilize com

a nuvem de pontos da obra e aprove o envio da peça após a constatação da total compatibilidade entre ambos.

Como já observado anteriormente, alguns materiais dificultam o seu escaneamento em função de características físicas, chegando a impedirem que sejam escaneados na totalidade, como o vidro. Neste caso, em situações em que a direção ou operação de uma determinada obra optar pela utilização da tecnologia e em que o efetivo mapeamento dos vidros seja imprescindível, recomenda-se a instalação de elementos opacos ou translúcidos nos vidros para que estes elementos sejam escaneados, como já mencionado, e sirvam como referência de localização dos vidros propriamente ditos. O escopo de contratação da fabricação dos vidros pode ter a inclusão deste elemento caso seja viabilizado economicamente além de poder atuar como proteção do vidro.

Figura 30 – Sugestão de solução para possibilitar o escaneamento a *laser* de vidros



Fonte: acervo do autor

Legenda: da esquerda para a direita, o primeiro vidro está revestido integralmente com uma película adesiva perfurada para garantir entrada de luz, o segundo vidro contém diversas películas adesivas, o terceiro vidro contém uma única película adesiva, o terceiro vidro contém uma película adesiva translúcida na totalidade (verificar com o fabricante do equipamento de escaneamento a *laser* quais opções seriam capturadas pelo equipamento).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho discorreu sobre o estado da arte da tecnologia de escaneamento a *laser* bem como histórico associado a ela. Adicionalmente, foi possível a identificação dos usos no mundo e no Brasil.

Outra contribuição deste trabalho, foi a apresentação de algumas recomendações quanto a capacitação dos profissionais do setor que terão contato com a tecnologia, e requisitos tecnológicos para a implementação dela. Estas recomendações foram baseadas na interpretação que o autor fez a partir do conjunto de assuntos pesquisados.

Espera-se que futuros trabalhos possam discorrer sobre novas aplicações da tecnologia de escaneamento a *laser* não previstas aqui bem como sobre a eventual ligação com outras tecnologias correlatas, como a fotogrametria.

O autor acredita na evolução do setor da Construção Civil em todos os aspectos e a busca pelo apoio de novas tecnologias é fundamental que isto seja alcançado.

Atualmente, as medições e controles em canteiros de obra, de uma forma geral, são realizados com base em processos manuais tanto na forma de se obter o dado ou realizar a leitura e interpretação do estado real de um elemento inspecionado como na forma de se realizar o registro desta leitura seja em meio físico, como em um caderno, seja em meio eletrônico, como em um tablet – condição, esta, pouco difundida ainda. A introdução de inovações tecnológicas pode contribuir imensamente com a redução do tempo necessário para a realização de determinadas tarefas potencializando a redução de erros e incremento na qualidade geral da obra. A seguir, o autor discorreu sobre aspectos ligados às eventuais e potenciais futuras aplicações desta tecnologia de escaneamento a laser na construção civil.

No Brasil, mesmo em grandes capitais, ao percorrer obras de pequeno e grande porte, independentemente da destinação, é possível observar o emprego de diversos métodos construtivos utilizados há décadas ou mesmo há séculos, como o assentamento de tijolos. Há diversas iniciativas no sentido do desenvolvimento de robôs “pedreiros” capazes de assentar, como no caso do modelo *HadrianX* da empresa australiana *Fastbrick Robotics*, (FASTBRICK ROBOTICS, 2019), 1000 tijolos por hora, número muito superior ao realizado pelo ser humano. No entanto, neste caso, o método construtivo não sofreu grandes modificações, tendo sido alterado

apenas o elemento executor. O setor da Construção Civil, portanto, para alcançar novos patamares de produtividade e qualidade, com a potencial redução de desperdícios e custos, necessita efetivamente do desenvolvimento de novos métodos construtivos alinhados à Indústria 4.0, conceito de revolução da indústria com a implementação de tecnologias para tornar os atuais processos mais flexíveis, autônomos e eficientes, para que tecnologias como a do escaneamento a *laser* possam ser empregadas de forma mais efetiva.

A automatização de processos de trabalho pela robotização tem sido observada em muitos setores da economia, como na Construção Civil com o desenvolvimento de robôs autônomos à semelhança no porte e forma de locomoção dos cães, à exemplo do modelo *Spot* da empresa norte-americana de engenharia robótica *Boston Dynamics*, Figura 31, com a capacidade de locomoção no ambiente da obra de forma independente com o objetivo de auxiliar nas inspeções em campo, (BIM+, 2019). A tecnologia de escaneamento a *laser*, com um eventual acoplamento a este tipo de robô, poderia proporcionar a automatização do mapeamento em nuvem de pontos das obras, evitando a necessidade de deslocamento de profissionais para tal atividade. Deste modo, um robô poderia realizar leituras diárias da evolução da construção para integração a processos de controle do avanço físico.

Figura 31 - Simulação de inspeção visual de obra realizado por robô autônomo da empresa norte-americana Boston Robotics em obra da construtora Takenaka, no Japão



Fonte: Boston Dynamics

É fato que a qualidade de execução da estrutura de concreto armado é determinante nos fatores de custo, prazo e qualidade de diversos outros sistemas e subsistemas que a sucedem, como a execução de vedações verticais e respectivos revestimentos, portanto, à luz do que foi dissertado pelo autor à cerca da automatização de processos de trabalho no canteiro pode-se vislumbrar a inspeção parcialmente automatizada da execução das fôrmas de concreto com o escaneamento a *laser*. Garantindo o correto posicionamento dos seus elementos constituintes haverá a potencialização de execução da estrutura conforme projetado, proporcionando o ambiente ideal para o cumprimento das subseqüentes tarefas com boa qualidade e sem desperdício de material. Vale ressaltar que, sendo a tradicional fôrma de madeira composta por diversos elementos, com variadas geometrias, sobrepostos o escaneamento a partir da parte inferior deste sistema seria dificultado. Tendo isto em vista, o ideal seria a realização do escaneamento por cima da fôrma com a total visibilidade dos espaços a serem preenchidos pelo concreto que, portanto, proporcionaria a geração de uma nuvem de pontos mais fiel a geometria da estrutura a ser executada.

Adicionalmente, em virtude da geometria complexa e dos desníveis inerentes a este sistema, recomenda-se a utilização de equipamentos de escaneamento a *laser* acoplados a drones para sobrevoo e captura completa das fôrmas. Ainda, como última recomendação devido à complexidade geométrica deste sistema, para facilitar um eventual processo de automatização via ferramenta computacional com inteligência artificial, indica-se o desenvolvimento de fôrmas com superfícies que se destaquem dos demais elementos adjacentes com a aplicação de cores específicas ou marcadores que possam ser reconhecidos por computadores, atrelados à verificação automática de desvios a partir de tolerâncias pré-estabelecidas.

7. REFERÊNCIAS

AISH, R.; BREDELLA, N. The evolution of architectural computing: from Building Modelling to Design Computation. **Cambridge University Press**, v. 21, n. 1, p. 65-73, 2019.

ALLEN, G. S. Why Construction Industry Productivity Is Declining. **The MIT Press**, v. 67, n. 4, p. 661-669, Nov. 1985. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1924811>>.

BARBOSA, F. et al. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. McKinsey & Company. [S.I.], p. 20. 2017.

BIM+. Robot dog unleashed for construction site work. **BIM+**, 2019. Disponível em: <<http://www.bimplus.co.uk/news/robot-dog-unleashed-construction-site-work/>>. Acesso em: 22 Jun 2019.

CARTER, J. et al. **Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications National**. Charleston: NOAA Coastal Services Center, 2012.

CATELANI, W. S. **10 Motivos para Evoluir com o BIM**. 2. ed. Brasília: CBIC, 2017.

CHANG, H.-C.; LIN, A. C. Five-axis automated measurement by coordinate measuring machine. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 55, n. 5-8, p. 657–673, Jul 2011.

CHEN, Y.; WOO, R. China's growth slowed by service, farm sectors, despite construction rebound. **Reuters**, 2019. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-china-economy-gdp/chinas-growth-slowed-by-service-farm-sectors-despite-construction-rebound-idUSKCN1PG0A2>>. Acesso em: 17 Jun 2019.

CIVDRONE. How it works. **Civdrone**, 2019. Disponível em: <<https://www.civdrone.com>>. Acesso em: 22 Jun 2019.

COSTANZO, A. et al. Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and IR Thermography Applied to a Historical Building. **Sensors**, 24 Dez 2014. 194-213.

EASTMAN, C. **The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design**. AIA Journal. [S.I.], p. 5. 1975.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Second Edition. ed. [S.l.]: Wiley, 2011.

ENGELBART, D. C. **Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework**. Stanford Research Institute. Arlington, p. 144. 1962.

FASTBRICK ROBOTICS. Hadrian-X. **Fastbrick Robotics**, 2019. Disponível em: <<https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x>>. Acesso em: 22 Jun 2019.

FLOTH Sustainable Building Consultants. **C.R.Kennedy Survey Solutions**, 2019. Disponível em: <<https://survey.crkennedy.com.au/blogs/trustories/2019/Apr/5/floth-blk360>>. Acesso em: 24 Jun 2019.

GASPAR, W. C. R. **A correlação entre jornada de trabalho e produtividade: uma perspectiva macroeconômica entre países**. Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, p. 89. 2017.

GERBERT, P. et al. **Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling**. The Boston Consulting Group. [S.l.], p. 22. 2016.

GOMEZ-SANCHEZ, J. M.; ROJAS-QUINTERO, J. S.; AIBINU, A. A. The status of bim adoption and implementation experiences of construction companies in colombia. **Proceedings of the VII Elagec**, Bogotá, v. 1, p. 601-611, Nov 2016.

ISRAEL, M. C.; PILEGGI, R. G. Uso do escaneamento 3D laser para análise de planicidade e volumetria de argamassa em fachadas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 91-122, Fev 2016. ISSN 1983-4195.

KASSEM, M.; SUCCAR, B. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. **Automation in Construction**, 03 Mai 2017. 286-299.

K-H. THIEL, A. W. Performance capabilities of laser scanners - an overview and measurement principle analysis. In **Proceedings of the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial**, Istanbul, 12-23 Julho 2004. 14-18.

KLEIN, L.; NAN, L.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. **Automation in Construction**, Los Angeles, 21 Junho 2011. 11.

MAAR, H.; ZOGG, H.-M. **WFD – Wave Form Digitizer Technology**. Leica Geosystems AG. Heerbrugg, p. 12. 2014.

MARCOE, K. Portland State University, 2007. Disponível em: <http://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Marcoe_LiDAR.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.

MARKO, R. Economia. **Sinduscon-SP**, 2019. Disponível em: <<https://sindusconsp.com.br/sinduscon-sp-pib-da-construcao-devera-crescer-2-em-2019-2/>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

MORESCO, J. M. et al. Termografia Infravermelha na detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado. **Anais do 11º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas**, Jun 2015. 13.

OECD. GDP per worked hour. **OECD**, 2019. Disponível em: <<https://data.oecd.org/lprdy/gdp-per-hour-worked.htm>>. Acesso em: 29 Mai. 2019.

OFFICE FOR NATIONAL STATISTICS. Construction statistics: Number 19, 2018 edition. **Office for National Statistics**, 2017. Disponível em: <<https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/constructionindustry/articles/constructionstatistics/number192018edition>>. Acesso em: 17 Jun 2019.

PARK, C.-S. et al. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. **Automation in Construction**, v. 33, p. 61-71, Out 2012.

PYFER, J. Sketchpad. **Encyclopædia Britannica**, 2019. Disponível em: <<https://academic-eb-britannica.ez67.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/Sketchpad/608764#>>>. Acesso em: 16 Jun 2019.

SABBATINI, H. F. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo: [s.n.], 1989.

SANTOS, E. T. LinkedIn. **LinkedIn**, 2019. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/ações-governamentais-para-adoção-de-bim-em-países-da-américa-santos>>. Acesso em: 16 maio 2019.

SINDUSCON-SP. Aumento da produtividade no setor passa por tecnologia e gestão. **Notícias da Construção**, São Paulo, out/nov 2015. 12-15.

SMITH, P. BIM Implementaion - Global Strategies. **Procedia Engineering**, Dez 2014. 482-492.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua inciência e seu controle**. Porto Alegre: [s.n.], 1993.

TAKEDA, O. T.; MAZER, W. Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas. **ALCONPAT**, Yucatán, v. 8, n. 1, p. 38-50, Janeiro 2018. ISSN 2007-6835.

TANG, P. et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Pingbo Tang a, Daniel Huber b,*, Burcu Akinci c, Robert Lipman d, Alan Lytle**, v. 19, n. 7, p. 829-843, Nov 2010.

TOLENTINO, M. M. A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. Salvador: [s.n.], 2018.

U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **3D Laser Scanning Quality Management Program Guide**. U.S. General Services Administration. [S.I.], p. 49. 2009.

U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA Building Information Modeling Guide Series: 03 – GSA BIM Guide for 3D Imaging**. U.S. General Services Administration. [S.I.], p. 68. 2009.

WANG, J. et al. Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. **Emerald Insight**, v. 14, n. 4, p. 453-476, 2014.

WILTON, C. S.; SANTOS, E. T. Normas brasileiras sobre BIM. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 84, p. 54-59, Dezembro 2016. ISSN 1809-7197.

WORLD ECONOMIC FORUM; THE BOSTON CONSULTING GROUP. **Shaping the Future of Construction: a Breakthrough in Mindset and Technology**. World Economic Forum. [S.I.], p. 64. 2016.

YANG, Z. **Building information modeling based design review and facility management: virtual reality workflows and augmented reality experiment for healthcare project**. [S.I.]: School of Architecture University of Southern California, 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2a. ed. Porto Alegre: Bookman, v. Volume único, 2001.

ZANCUL, E. et al. **Estudo sobre produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil**. Ernst & Young. [S.l.], p. 9. 2014. (10.13140/RG.2.1.2948.7449).

APÊNDICE A – ENTREVISTA I

Entrevista elaborada com foco na compreensão da motivação, processo e resultados ligados ao escaneamento a *laser* realizado para digitalização, em formato de nuvem de pontos, da estrutura de concreto de edifício no Rio de Janeiro.

Nome do Edifício: AQWA RIO

Nome da Construtora: Hochtief (atualmente HTB)

Nome da Incorporadora: Tishman Speyer

Nome do fabricante do *Laser Scanner*: Não soube informar

Nome do entrevistado: Luiz Henrique Ceotto

Autorizou a gravação da entrevista: SIM NÃO

Questões específicas sobre o caso:

1) Qual foi a motivação para contratação do escaneamento a *laser* e de quem ela partiu?

A Arquitetura edificação de aproximadamente 90 metros de altura e 134.000 m², cujos pavimentos são desalinhados entre si em função da rotação no eixo vertical resultando no desenvolvimento de uma fachada assimétrica, foi concebida pelo renomado escritório de Norman Foster. Ceotto, que à época ocupava cargo de direção na construtora responsável pela execução da obra, acompanhou todo o processo de pré-construção desenvolvido para o empreendimento. O núcleo da edificação, bem como os 5 subsolos foram executados em concreto armado tendo a torre sido executada em estrutura metálica em forma de “calderaria” com seções tubulares preenchidas com concreto armado, formando deste modo um sistema estrutural misto, tendo o projeto sido desenvolvido pela empresa JKMF. Este sistema estrutural, segundo Ceotto, proporcionou uma redução no tempo de execução da estrutura, em comparação com sistemas tradicionais, pois a estrutura metálica atuou como fôrma para o concreto.

Um dos desafios desta obra foi o acompanhamento e controle da qualidade da execução da estrutura metálica em virtude do giro no eixo vertical, previsto em projeto, aliada a movimentação estrutural após a execução, decorrente da acomodação

natural dos componentes do sistema. Esta acomodação foi prevista e calculada em projeto, porém era de suma importância que fosse verificada *in loco* dadas as tolerâncias máximas admitidas pelo sistema da fachada a ser fixado à estrutura metálica. Com pilares extensos, da ordem de 4 a 6 metros de comprimento, pequenas variações no posicionamento durante a execução poderiam resultar em desvios significativos muito acima dos toleráveis especialmente em função da característica de inclinação destes pilares.

Outro fator apontado como desafiador por Ceotto foi o prazo definido para execução desta obra: 24 meses, com início ao final do ano de 2014 e conclusão ao final do ano de 2016.

O prazo, associado a complexidade executiva da estrutura metálica, foi decisivo, durante a etapa de pré-construção, para a contratação do serviço de escaneamento a *laser* desta obra e deste modo evidente que para garantir a qualidade executiva dentro do prazo seria necessária a adoção desta tecnologia pela construtora, algo que, segundo Ceotto, não seria possível ter sido realizado em processo tradicional topográfico tendo em vista o custo, a precisão e o prazo de execução inerentes a este método.

2) Quais pavimentos foram escaneados? Caso não tenham sido todos, por que apenas estes?

A construtora decidiu pelo escaneamento a *laser* do empreendimento na integralidade.

3) O escaneamento foi externo, interno ou ambos?

A construtora decidiu pelo escaneamento a *laser* de ambos os cenários.

a) Tendo havido o escaneamento interno: o espaço estava livre de elementos temporários (detritos de obra, escoras, material de obra etc)?

O escaneamento interno foi realizado em todos os pavimentos após a conclusão da execução da estrutura do respectivo pavimento. Eventualmente, os sistemas de outras disciplinas, como instalações, já haviam tido o início da execução antes do escaneamento e, deste modo, também foram capturadas no escaneamento,

porém não foram objeto de análise por parte da equipe da construtora, tendo sido foco estritamente no acompanhamento da qualidade da execução da estrutura.

Elementos indesejados não necessariamente interferirão na visualização completa do objeto de estudo do escaneamento a *laser* em questão, no entanto, em algumas regiões é possível que tenham sido necessárias algumas cenas a mais para captura completa do todo, portanto se faz fundamental a definição prévia do escopo do levantamento a ser realizado para que o profissional em campo tenha as diretrizes e condições de realizar a captura completa do objeto de estudo.

b) Tendo havido o escaneamento externo: houve alguma orientação por parte do prestador de serviço de escaneamento a *laser* em relação as condições climáticas para a realização das atividades externas? Como foi superada a limitação do alcance do equipamento de escaneamento a *laser* para varredura da fachada?

Os levantamentos com escaneamento a *laser* em ambientes externos podem ser realizados desde que observadas as limitações técnicas do equipamento como distância máxima de alcance dos feixes de luz e impedimento de realização da atividade durante as chuvas pois a água interfere negativamente no mapeamento, gerando poluição e sombra no modelo digital da edificação. Este segundo aspecto pode ser facilmente resolvido aguardando a melhora das condições climáticas. Quanto a limitação do alcance máximo de escaneamento algumas soluções podem ser adotadas para a realização desta atividade em edificações cuja altura exceder o limite do equipamento. A solução adotada na obra em questão foi a utilização de barra metálica de alumínio, com aproximadamente 10 metros de comprimento, projetada de dentro da edificação para o lado externo, em cuja extremidade posicionada externamente era instalado o equipamento de escaneamento a *laser*, com a posterior realização da varredura da fachada, à medida em que novos pavimentos da estrutura era executados.

Atualmente, segundo Ceotto, a utilização de *drones* para a realização do escaneamento naquele contexto teria sido facilitada em virtude do lançamento de novos equipamentos de escaneamento a *laser* mais leves com em torno de 1 kg, cujo peso antes superava os 10 kg.

4) Aproximadamente quanto tempo foi despendido para o escaneamento completo de cada pavimento/setor/trecho?

Dada a necessidade do escaneamento completo da fachada para acompanhamento, verificação e constatação da deformação da estrutura metálica prevista em projeto, a presença do prestador deste serviço era frequente em campo porém o tempo necessário para cada levantamento completo, isto é, o trecho da fachada executada adicionalmente ao que havia sido escaneado na visita anterior em conjunto com a área interna daquele pavimento. Segundo Ceotto, um dia era suficiente para a varredura de cada nova etapa executada, não excedendo mais do que dois dias em casos específicos.

5) Em cada pavimento/trecho escaneado quantos registros (posições do *laser scanner*) foram necessários para completar este pavimento/trecho?

Tendo em vista que a edificação tem formato retangular, foram definidos em torno de 10 pontos de levantamento em cada lado da edificação, no lado externo, mais em torno de 6 pontos de levantamento internos por pavimento.

6) O profissional da empresa contratada foi acompanhado durante todo o processo do escaneamento? Quem acompanhou e qual foi a atuação dele(a) durante o levantamento?

A empresa responsável pelo levantamento disponibilizava de 2 a 3 profissionais para a realização do serviço em campo, sendo um responsável pela manipulação do equipamento e os demais para auxiliá-lo.

As atividades eram sempre acompanhadas por um Engenheiro da obra com o único objetivo de supervisionar as condições de segurança de trabalho, sem qualquer interferência direta ou indireta no trabalho do prestador de serviço dado que o escopo do serviço já havia sido definido previamente.

O planejamento da obra como um todo foi desenvolvido tendo em vista as necessidades do planejamento da execução do escaneamento, tendo a produção sido organizada para não expor os prestadores do serviço aos riscos inerentes à construção civil. Equipamentos de Proteção Individual, as EPIs, foram devidamente fornecidos, a interrupção de atividades em execução acima do local de realização do

escaneamento a *laser* era realizada sem que houvesse impacto no cronograma uma vez que já eram esperadas. Além destes aspetos apontados por Ceotto, haviam situações em que elementos como bandejas de proteção e guarda-corpos interfeririam no escaneamento a *laser* e, portanto, precisaram ser removidos temporariamente com o completo isolamento da área em questão com a presença do Engenheiro de Segurança.

7) A empresa contratada para realização do escaneamento a *laser* recebeu orientações sobre o(s) objetivo(s) do levantamento? Quais foram estas orientações?

Previamente ao início das atividades de escaneamento, a empresa contratada foi informada sobre o desafio desta obra em relação a verificação das deformações da estrutura metálica. Segundo Ceotto, é fundamental a realização de uma reunião prévia para o compartilhamento das necessidades e desafios para que o especialista tenha condições de planejar e definir em conjunto com o contratante a estratégia de realização do serviço.

Um levantamento completo, com a captura de 100% dos elementos, sem a criação de zonas de sombra (situações em que um elemento impede a varredura de outros elementos), pode vir a se tornar extremamente oneroso dada a quantidade de cenas a serem capturadas e, conseqüentemente, o tempo necessário para tal, portanto a definição do espoco se torna essencial para o planejamento do que deverá ser capturado e, em decorrência disto, a posição e quantidade de cenas a serem realizadas por trecho do levantamento.

O prestador de serviço foi responsável pelo fornecimento do equipamento de escaneamento a *laser*. A infraestrutura necessária para posicionamento do aparelho externamente a fachada foi fornecida pela construtora.

8) Você poderia informar o custo do escaneamento a *laser* contratado para este projeto? Além disto, o que estava incluso no valor além do escaneamento propriamente dito? Tratamento e limpeza da nuvem de pontos, modelagem em BIM a partir da nuvem de pontos etc?

Para o processo global de levantamento foram investidos pela construtora em torno de R\$200.000,00, contemplando o levantamento em si e o tratamento da nuvem

de pontos com a união de todos os levantamentos para visualização da nuvem de forma unificada e limpeza.

9) Para o mesmo levantamento em processo tradicional, quantas pessoas seriam necessárias? Quanto tempo seria necessário para cada pavimento/trecho? Qual o custo do homem/hora?

Não soube informar, porém destacou que a realização deste levantamento em processo tradicional não seria possível tendo em vista o grau de precisão do produto do levantamento topográfico e o grau de precisão que seria necessário para garantia da qualidade da execução da estrutura metálica.

10) Quais seriam os riscos ligados ao levantamento em processo tradicional em casos semelhantes ao da execução desta edificação?

O processo de levantamento tradicional topográfico, como comentado anteriormente, detém um grau de precisão da ordem de centímetros e o impacto disto no controle de qualidade das peças estruturais metálicas seria negativo, gerando um produto que, eventualmente, não representaria a realidade com a precisão necessária para a finalidade do levantamento.

Sem um levantamento altamente preciso da estrutura, a contratação da fabricação dos componentes da fachada seria realizada antecipadamente com base no projeto arquitetônico, porém haveria o risco de rejeição de componentes fabricados para a fachada, como montantes e vidros, devido a deformação da estrutura que superava as dimensões aceitas pelos aparelhos de apoio da fachada e, em decorrência disto, seria gerado retrabalho em campo.

11) O edifício foi projetado em BIM?

a) Foi concebido e desenvolvido em BIM ou apenas modelado por terceiros a partir de projeto em 2D?

O projeto foi concebido e desenvolvido em BIM desde o princípio pelos projetistas, não tendo sido contratada modelagem a partir de projetos desenvolvidos em 2D.

b) O fornecedor responsável pelo desenvolvimento do projeto de fabricação do caixilho utilizou diretamente a nuvem de pontos para o projeto?

Não, a construtora era responsável pelo mapeamento das distorções da estrutura metálica executada em comparação com a nuvem de pontos. O produto deste mapeamento era repassado ao Engenheiro Estrutural para realização dos devidos ajustes no modelo de estrutura. O projetista responsável pelo projeto executivo da fachada ajustava o projeto com base neste modelo atualizado da estrutura.

12) Ao longo de todo o processo de contratação e execução do serviço de escaneamento a *laser*, até a conclusão, quais foram as principais dificuldades da adoção?

Segundo Ceotto, o grande entrave observado em processos de adoção de novas tecnologias, como a de escaneamento a *laser*, é a mentalidade das pessoas. Ele destaca que não existe uma capacitação aprofundada, por parte das empresas, dos profissionais para compreensão dos conceitos, princípios, aplicações ligadas àquela tecnologia e isto é primordial para que se tornem evidentes as vantagens de uma nova tecnologia em comparação a processos tradicionais e já consolidados.

Ele relatou também que o processo de escaneamento a *laser* realizado na obra objeto desta entrevista sofreu resistência de Engenheiros em virtude da desconfiança em relação a precisão e qualidade da nuvem de pontos, recorrendo constantemente ao topógrafo da obra para verificação. O que se observava com esta comparação, de fato, é que ambos os levantamentos apresentavam discrepâncias entre si dado o diferente grau de precisão de cada tecnologia.

Questões gerais sobre o uso da tecnologia (*o entrevistado poderá não dominar os assuntos abordados pois extrapola o caso de uso*):

1) Em sua experiência, quais são os principais benefícios potenciais do uso da tecnologia de escaneamento a *laser*?

Segundo a experiência de Ceotto, o escaneamento a *laser* pode ser utilizado para conferências rápidas e precisas de qualquer sistema da construção civil em

qualquer etapa do ciclo de vida do empreendimento, para levantamento de grandes maciços de terra, para atuar como referência para acoplamento preciso de um elemento construtivo a outro (à exemplo da fachada sobre a estrutura metálica), para medições de grandes áreas, entre outros.

2) Para a implantação da tecnologia em uma construtora, quais seriam os requisitos do ponto de vista da:

a) Cultura / *mindset* da empresa

Já respondido acima.

b) Grau de investimento financeiro

Ceotto acredita que o equipamento de escaneamento a *laser* não deve ser adquirido pela construtora. Ele entende que construtoras que funcionam sob o modelo de *General Contractor*, comum nos EUA, devem buscar a terceirização dos serviços não relacionados diretamente às atividades núcleo. Destaca ainda que a construtora deve ser generalista buscando ser especialista apenas em planejamento, controle e gestão da obra.

c) Alteração de algum fluxo de projeto se faz necessária?

Para tirar o máximo proveito da nuvem de pontos é fundamental que o projeto seja desenvolvido em BIM. Segundo Ceotto, o fluxo de projeto não é alterado para incorporação do produto do escaneamento a *laser*. O projeto em BIM auxilia o escaneamento no mapeamento dos pontos de atenção que devem ser verificados em obra.

3) Você acredita que o uso desta tecnologia está restrito a obras de determinado segmento do setor da construção?

Ceotto acredita que esta tecnologia possa ser utilizada em qualquer segmento da indústria da construção devendo ter em vista, inicialmente, que o investimento financeiro representará diferentes frações do custo total da obra dependendo do tipo de obra.

4) Você acredita que o uso desta tecnologia está restrito a determinadas disciplinas do setor da construção?

Não, os benefícios da tecnologia podem ser observados em qualquer disciplina.

5) Você acredita que em habitações de baixo custo seria possível a aplicação desta tecnologia?

Acredita que, atualmente, talvez não seja viabilizada a utilização desta tecnologia em obras de baixo custo em virtude das restrições financeiras deste tipo de obra, no entanto observa que com a popularização desta tecnologia existirá a tendência de redução dos custos relacionados a ela o que, eventualmente, poderá viabilizar a utilização dela neste contexto.

6) Em que momento deve ser definido o uso da tecnologia?

O ideal é que durante o processo de pré-construção o uso do escaneamento a *laser* seja analisado para mapeamento dos pontos críticos de execução da obra bem como os objetivos gerais dela de modo a tirar o maior proveito possível do potencial da nuvem de pontos em todas as etapas construtivas. De qualquer modo, independentemente do momento da definição do uso desta tecnologia é fundamental que exista um planejamento mínimo para garantir a definição do escopo do levantamento, planejamento da segurança.

7) Você acredita que a tecnologia de escaneamento a *laser* pode contribuir para a redução de custos na construção civil?

a) Em quais etapas/atividades?

Grande parte no retrabalho, ter certeza que a etapa foi executada (hoje gira em torno de 10 a 20% de custo adicional por retrabalho).

8) Você tem uma visão do futuro da aplicação desta tecnologia no mundo no:

a) Curto prazo

No curto prazo acredita na maior disseminação do uso da tecnologia no setor da construção civil.

b) Médio prazo

No médio prazo acredita na evolução tecnológica com a integração do escaneamento a *laser* em dispositivos móveis para tornar o uso desta tecnologia presente no dia-a-dia da obra para aplicações ainda não previstas. O desenvolvimento de aplicativos de comparação serão fundamentais no futuro para redução de trabalho.

c) Longo prazo

Não tem opinião formada a respeito do uso da tecnologia a longo prazo.

APÊNDICE B – ENTREVISTA II

Entrevista elaborada com foco na compreensão dos principais aspectos ligados a utilização do escaneamento a *laser*, como aplicações, requisitos, premissas, contexto internacional de utilização entre outros que serão abordados.

Nome do entrevistado: Prof. Dr. Lúcio Soibelman

Autorizou a gravação da entrevista: SIM NÃO

Questões específicas sobre o caso:

1) Em sua experiência, quais são os principais benefícios potenciais do uso da tecnologia de escaneamento a *laser*?

A grande vantagem do *laser scanning* é a precisão maior do que a fotogrametria e outros métodos de medição, no entanto a tecnologia de escaneamento a *laser* é muito mais cara do que as demais. A precisão de levantamento da fotogrametria é da ordem de centímetros, enquanto a do *laser scanning* é de alguns milímetros.

2) Para a implantação da tecnologia em uma construtora, quais seriam os requisitos do ponto de vista da:

a) Cultura / *mindset* da empresa

Soibelman destaca que o mais importante é que a empresa com a intenção de implementação desta tecnologia já tenha um modelo da informação da construção para comparação pois, caso contrário, os benefícios desta implementação serão quase nulos. Outro aspecto apontado é a necessidade de que esta empresa já esteja em um grau de avanço do ponto de vista tecnológico tal que a permita manipular a tecnologia em questão sem grandes barreiras.

b) Grau de investimento financeiro

Indica que para adquirir um bom equipamento deve-se esperar um investimento da ordem de USD100.000,00.

c) Alteração de algum fluxo de projeto se faz necessária?

O fluxo, necessariamente, não, porém as formas de controle se alteram e os projetistas devem estar alinhados a eles.

Aponta a necessidade em se haver mais proatividade no meio da construção civil pois um dos grandes problemas das obras é a frequência com que elas são medidas e com o *laser scanning* esta medição pode ser realizada mais frequentemente.

Em um sequenciamento 4D vinculado ao diário escaneamento da estrutura, por exemplo, potencializaria a capacidade de previsão do adiantamento ou atraso das obras. No entanto ele destaca que verificar se o custo deste controle compensará a redução de custo é muito difícil.

3) Você acredita que o uso desta tecnologia está restrito a obras de determinado segmento do setor da construção? Ex.: comercial, residencial, patrimônio histórico...

Soibelman acredita que o uso do escaneamento a *laser* não está restrito a um segmento do setor. Deve-se entender que um dos grandes benefícios desta tecnologia é a medição durante a produção, para que os erros sejam contidos e corrigidos em tempo real para evitar que eles se ampliem e se alastrem para demais subsistemas.

Telhados pré-fabricados são produzidos diretamente a partir de tecnologia CAM [*Computer Aided Manufacturing*] bidimensional e a medição *in loco* auxilia este processo de fabricação com a retroalimentação da fábrica com ajustes obtidos da medição do executado de fato. Ele ainda sugere que se houvesse um método de controle e precisão da obra, não seria necessária a medição posterior, mas acredita que isto é muito difícil de se implementar.

No caso da execução de fôrmas de concreto, é possível escanear a fôrma e ter certeza que ela estará corretamente posicionada e dimensionada conforme o projeto para a concretagem. Na Europa há empresas utilizando o escaneamento a *laser* em conjunto com a bomba de concretagem. Caso a fôrma saia do prumo o bombeamento do concreto é interrompido.

4) Você acredita que o uso desta tecnologia está restrito a determinadas disciplinas do setor da construção?

Não, ele acredita que a garantia de precisão da execução pode ser verificada em qualquer disciplina.

5) Você acredita que em habitações de baixo custo seria possível a aplicação desta tecnologia?

A fotogrametria atualmente se coloca como melhor opção exclusivamente em função do alto custo do escaneamento a *laser*.

a) Em quais etapas do ciclo de vida da edificação?

Qualquer etapa em que o custo do conjunto de erros for maior do que o do levantamento. Exemplifica que não utilizaria para controlar a correta paginação do azulejo nas paredes, mas, sim, para o controle de elementos estruturais, vãos de caixilhos e esquadrias, entre outros cujo custo de retrabalho decorrente do erro é alto.

6) Como o uso da tecnologia pode influenciar:

a) Execução de obras

No controle com base nas mais variadas formas de medição.

b) Operação de empreendimentos

Soibelman comentou sobre a necessidade de se ter um modelo *as-built* confiável pois a operação e manutenção são realizadas com base em um modelo absolutamente preciso. Nas situações em que um modelo preciso não existe, a localização de elementos embutidos em alvenarias, por exemplo, se torna difícil sendo necessária a criação de múltiplos acessos até que se localize o elemento em questão.

Durante a operação, intervenções e reformas podem existir. Pequenas alterações são incorporadas ao modelo de forma manual, não sendo justificável o escaneamento 3D. Caso o prédio passe por grandes renovações torna-se justificável o escaneamento 3D das novas intervenções para incorporação ao BIM.

7) Do ponto de vista da produtividade na construção civil, você acredita que a tecnologia de escaneamento a *laser* pode contribuir para melhorar este aspecto do setor?

Indiretamente, sim. É importante destacar que para melhorar a produtividade deve existir, em primeiro lugar, o controle dela. Não se melhora algo que não se conhece. Deve-se compreender quais são as falhas de processo que culminam em baixos índices de produtividade para então estudar aplicações da tecnologia nestes casos específicos.

8) Você acredita que os profissionais do setor de projetos estão, de uma forma geral, capacitados para o consumo da nuvem de pontos?

Lúcio Soibelman destaca a necessidade de desenvolvimento, no Brasil, de práticas de autodidatismo por parte dos profissionais do setor da Construção Civil para que a assimilação de novas tecnologias se torne atividade recorrente no dia-a-dia deles, buscando a ampliação do conhecimento de toda a indústria visto que em outros países, como nos EUA, esta conduta está presente desde a graduação. O profissional é “ensinado a aprender”.

a) Quais são os cuidados e riscos inerentes ao consumo incorreto da nuvem de pontos na etapa de projeto?

São os riscos inerentes a uma medição incorretamente realizada: potencial de impactar negativamente o custo, prazo, produtividade etc.

b) Deveriam existir profissionais especializados no consumo de nuvem de pontos?

Entende que não deveria haver a necessidade de especialização de alguns, todos [cujo consumo da nuvem é pertinente] precisam aprender a utilizar, não apenas contratar um serviço externo para tal.

9) Você acredita que a tecnologia de escaneamento a *laser* pode contribuir para a redução de custos na construção civil?

Certamente. Uma das principais fontes de perdas na construção civil é a incorporada. A tecnologia de escaneamento a *laser*, como ferramenta de medição, possibilita o controle de execução dos principais sistemas construtivos, como estrutura e vedações verticais. Garantindo a qualidade de execução e precisão geométrica dos elementos, com desvios mínimos em relação àqueles previstos em projeto, há a potencial redução de perdas incorporadas.

10) Você tem uma visão do futuro da aplicação desta tecnologia no mundo no:

a) Curto e médio prazos?

Redução do preço em função do aumento do uso dado que os veículos autônomos, com vendas em ascensão, utilizam componentes do escaneamento a *laser*.

Soibelman comenta um *tablet* com escaneamento a *laser* e fotogrametria estéreo integrados que foi desenvolvido por uma empresa que realiza fechamento de buracos em vias asfaltadas. Tira-se uma foto da rachadura e cria-se o volume dela a ser preenchido com precisão. Outras aplicações desta tecnologia e de variações dela surgirão para resolver questões da Construção Civil.

b) Longo prazo?

Não soube informar.

11) Em que estágio de adoção desta tecnologia se encontra o mercado da construção civil nos EUA atualmente?

Soibelman aponta que, nos EUA, a tecnologia de fotogrametria tem sido mais utilizada do que a de *laser scanning*, essencialmente em função do alto custo da segunda. Além disso, o peso dos equipamentos de escaneamento a *laser* exige *drones* robustos para a realização de sobrevoos, logo caros. Destaca também que a aplicação dela em obras de pequeno porte não se viabiliza.

Lúcio Soibelman ainda comenta sobre os modelos híbridos, criação dele, em que a fotogrametria e o escaneamento a *laser* trabalham em conjunto. Apresentou um artigo à cerca do tema em uma conferência realizada na Holanda.

a) Qual a aplicação mais empregada atualmente?

Tem observado a aplicação em experiências específicas de grande complexidade com interferências relevantes. Para a pré-fabricação, por exemplo, entende-se que a alta precisão é fundamental então utiliza-se o escaneamento a *laser*. Associa ainda a utilização da tecnologia em obras de hospitais, grandes laboratórios, entre outros cuja complexidade geométrica excede os padrões de mercado.

b) As construtoras e empresas de projeto têm adquirido o equipamento ou terceirizado o serviço de escaneamento?

Entende que as construtoras têm adquirido os equipamentos em vez de terceirizarem o serviço de escaneamento. Há empresas que prestam este tipo de serviço, no entanto normalmente as construtoras não terceirizam a medição completa de um empreendimento, apenas pontos específicos da obra.

c) Tem conhecimento do estágio de adoção em outros países?

O desenvolvimento ao norte da Europa se assemelha aos EUA. Espanha e Portugal estão atrasados em comparação com os demais países mais avançados neste quesito. A China tem tecnologia própria e publicações acadêmicas relevantes, porém não soube informar sobre a disseminação da tecnologia na prática em obras. Em Israel o Prof. Rafael Sacks tem publicado com frequência, especialmente em relação ao uso do *laser scanner* na pré-fabricação.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO I – PROF. DR. FABIANO CORRÊA

Questionário elaborado com foco na compreensão da motivação, processo e resultados ligados ao escaneamento a *laser* realizado para digitalização, em formato de nuvem de pontos, da área externa do edifício da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo.

Nome do Edifício: Faculdade de Engenharia Civil da USP

Nome do fabricante do *Laser Scanner*: Trimble

Nome do entrevistado: Prof. Dr. Fabiano Corrêa

1) Qual foi a motivação para a realização do escaneamento a *laser* do edifício da Faculdade de Engenharia Civil da USP?

A principal motivação foi a de obter uma nuvem de pontos sobre a qual os alunos da graduação pudessem ter como referência para criar um modelo BIM do edifício. Num primeiro momento, os alunos usaram as plantas como referência.

2) Houve um planejamento minucioso para a realização do levantamento? Quais foram as etapas do processo?

Não houve, por causa do uso que seria feito da nuvem de pontos. A pessoa responsável pelo escaneamento usou da sua experiência prévia para determinar um conjunto de posições (bem como usou o fato de o equipamento permitir uma pré-visualização do resultado) necessárias e suficiente para produzir o resultado. Como não estávamos preocupados com uma reconstrução milimetricamente precisa, e o objeto a ser escaneado era de geometria relativamente simples, não houve a necessidade de planejamento.

3) Quais foram as principais dificuldades encontradas durante e após o levantamento:

a) com o manuseio do equipamento;

O equipamento, por mais leve que possa ser, ainda assim pesa mais de 5 quilos. Transportá-lo para as diferentes posições e elevá-lo sobre o tripé é desgastante.

b) com as condições topográficas do local (regiões de sombra, *occlusion/clutter* etc);

O mais complicado foi o piso liso interno do edifício. Tivemos de arrastar um tapete pelo caminho. Mas de resto, o terreno é bem “comportado”. Vale destacar que a nuvem ainda não foi usada pelos alunos, e não identificamos nenhuma região de sombra nos registros obtido.

c) com o tratamento dos dados brutos levantados;

Um pouco de trabalho para registrar os dados, mas vale lembrar que não foi necessário usar alvos externos, apenas as faces planas das paredes.

d) com o consumo da nuvem de pontos gerada;

Seria bom ter manipulado a nuvem num software como o Revit e em nossos computadores para verificar esta questão.

4) Quais foram os resultados verificados a partir do processo de levantamento e consumo da nuvem de pontos?

a) Pontos positivos

Tivemos razoável facilidade em adquirir os dados.

b) Pontos negativos

Usar o software de processamento dos registros exige um treinamento inicial. Modelar em software de autoria BIM também não é simples.

5) O levantamento baseado em fotogrametria poderia ter substituído o escaneamento a *laser* neste caso específico?

Neste nosso caso, muito provavelmente. O maior problema é ter o software adequado e a expertise de sobrepor adequadamente as fotos sequenciais.

6) Em quais aspectos você acredita que a tecnologia de escaneamento a *laser* deve melhorar?

Principalmente no preço, porque os *software* que consomem as nuvens de pontos estão cada vez mais versáteis. Além disso, a transformação de nuvem de pontos em modelo BIM, automaticamente, precisa transpor ainda uma barreira tecnológica. Para geometrias simples, ex. Paredes, pilares, tubulação, etc..., está praticamente resolvido.