

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

**ESCOLA DE ENGENHARIA MAUÁ**

**ENGENHARIA CIVIL**

CAIO MALATESTA AZEVEDO

ERIK PEREIRA AUGUSTO

GIOVANE RINCO TIAGO

**Escaneamento a laser e tecnologia BIM com realidade virtual e aumentada  
para gestão e operação de edificação**

São Caetano do Sul

2019

CAIO MALATESTA AZEVEDO  
ERIK PEREIRA AUGUSTO  
GIOVANE RINCO TIAGO

**Escaneamento a laser e tecnologia BIM com realidade virtual e aumentada  
para gestão e operação de edificação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia Mauá do Centro  
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia  
como requisito parcial para a obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

Orientador: Dra. Paula Katakura

Área de concentração: Engenharia Civil

São Caetano do Sul

2019

Malatesta, Caio

Escaneamento a laser e tecnologia BIM com realidade virtual e aumentada para gestão e operação de edificação. / Caio Malatesta Azevedo, Erik Pereira Augusto, Giovane Rinco Tiago. — São Caetano do Sul : CEUN-IMT, 2019.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2019.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Paula Katakura.

1. Escaneamento a Laser. 2. Aerofotogrametria. 3. Nuvem de Pontos. 4. BIM. 5. As Built. I. Malatesta, Caio. II. Pereira, Erik. II. Tiago, Giovane. III. Instituto Mauá de Tecnologia. Escola de Engenharia. IV. Título.

CAIO MALATESTA AZEVEDO  
ERIK PEREIRA AUGUSTO  
GIOVANE RINCO TIAGO

**Escaneamento a laser e tecnologia BIM com realidade virtual e aumentada  
para gestão e operação de edificação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia Mauá do Centro  
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia  
como requisito parcial para a obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

Banca avaliadora:

Dra. Paula Katakura  
Orientadora

Dra. Cassia Silveira de Assis  
Avaliadora

Msc. Fabio Selleio Prado  
Avaliador

São Caetano do Sul, 5 de dezembro de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos profundamente a orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Paula Katakura por aceitar o tema e o grupo, se dedicar e se dispor, com o intuito de alcançarmos o objetivo deste trabalho.

Agradecemos a empresa Infinite Foundry, através do seu co-fundador Bruno Eisinger por ceder o escâner a laser FARO FOCUS 150S e realizar treinamento prévio do uso do equipamento.

Agradecemos ao professor do Instituto Mauá de Tecnologia Fábio Selleio Prado, por realizar a aerofotogrametria através da operação do VANT.

Agradecemos a Prof<sup>ª</sup>. Dra. Cassia Silveira de Assis pelo incentivo e suporte para que este trabalho possa ter se concretizado.

Agradecemos a todos os integrantes do FabLab do Instituto Mauá de tecnologia pelo apoio com a utilização dos óculos de realidade virtual em especial ao professor Rodrigo Mangoni Nicola.

Também ao Instituto Mauá de Tecnologia, por cederem o edifício da biblioteca Eng. Álvaro de Souza Lima situado em suas dependências (campus São Caetano do Sul) para a utilização do mesmo como objeto de estudo.

Por fim, agradecemos as famílias dos integrantes do grupo pelo apoio dado durante todo o trabalho.

## EPÍGRAGE

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*  
– José de Alencar

## RESUMO

A inserção de novas tecnologias na engenharia civil é uma necessidade em todos os seus segmentos. Devido a importância do conhecimento em tecnologias no mercado de trabalho, pesquisas aprofundadas são necessárias para entender melhor seus usos e procedimentos. Por este motivo, este trabalho analisa a tecnologia BIM, aerofotogrametria, escaneamento 3D a laser, nuvem de pontos, realidade virtual e aumentada. A partir da utilização da aerofotogrametria e do escaneamento a laser é possível obter a nuvem de pontos. O processo da aerofotogrametria consiste em um levantamento a partir de fotos tiradas através de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado), já o escaneamento a laser funciona através da emissão de feixes de laser que incidem nos objetos e retornam ao equipamento, trazendo assim as informações métricas com exatidão. A nuvem de pontos é caracterizada por um modelo formado de pontos provenientes dos dois levantamentos, servindo como gabarito para a modelagem e atribuindo medidas e distâncias compatíveis com o que se tem na realidade, além do fato de possuir informações de georreferenciamento. Estes processos são correlacionados ao BIM, servindo como elementos adicionados a um banco de dados capaz de unificar todas as informações que contemplam a edificação em estudo, assim podendo chegar ao modelo *As built*. A solução BIM é considerada uma ferramenta capaz de gerir a edificação ao longo da vida útil propiciando ao administrador informações precisas, segurança e otimização de tempo e custos. Para a aplicação das tecnologias previamente analisadas, foi escolhido o edifício da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia, localizado no campus de São Caetano do Sul. Após a conclusão da modelagem, foi possível exportar o modelo para realidade virtual e realidade Aumentada, proporcionando então uma visualização imersiva da edificação em estudo e dos elementos que a compõe.

**Palavras-chave:** Escaneamento a laser, Aerofotogrametria, Nuvem de pontos, BIM, As built, Realidade Virtual, Realidade Aumentada.

## ABSTRACT

The insertion of new technologies in civil engineering is a necessity in all its segments. Due to the importance of knowledge in technologies in the job market, in-depth research is needed to better understand their uses and procedures. For this reason, this work analyzes BIM technology, aerophotogrammetry, 3D laser scanning, point cloud, virtual reality and augmented reality. Using aerophotogrammetry and laser scanning it is possible to obtain the point cloud. The aerophotogrammetry process consists of a survey from photos taken by UAV (Unmanned Aerial Vehicle), while laser scanning works by emitting laser beams that focus on objects and return to the equipment, bringing the metric information accurately. The point cloud is characterized by a model formed by points from the two surveys, serving as a template for modeling and assigning measures and distances compatible with what is in fact, besides having georeferencing information. These processes are correlated to BIM, serving as elements added to a database capable of unifying all the information that includes the building under study, reaching the as built model. The BIM solution is considered a tool capable of managing the building over its lifetime providing the administrator with accurate information, security and time and cost optimization. For the application of the previously analyzed technologies, the library building of the Mauá Institute of Technology was chosen, located on the campus of São Caetano do Sul. After the conclusion of the modeling, it was possible to export the model to virtual reality and Augmented reality, providing a immersive visualization of the building under study and its elements.

**Key-words:** Laser Scanning, Aerophotogrammetry, Point cloud, BIM, As Built, Virtual Reality, Augmented Reality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do aparelho desenvolvido por Theodore Maiman.....	27
Figura 2 - Imagem final da igreja de Igarassu após varredura a laser .....	31
Figura 3 - (a) malha de pontos 3d do profeta Isaías. (b) malha de pontos triangulada.....	33
Figura 4 - Processo conceitual de composição real-virtual: base para realidade aumentada....	36
Figura 5 - Biblioteca Eng. Álvaro de Souza Lima.....	41
Figura 6 - Faro Focus S150.....	42
Figura 7 - Imagem 360° gerada pelo escâner.....	42
Figura 8 - Tela de início do sistema operacional do escaner.....	43
Figura 9 - Compilação de imagens das telas de parâmetros de varreduras.....	45
Figura 10 - Mapa dos locais onde foram realizadas as varreduras.....	46
Figura 11 - Drone Dji Spark.....	47
Figura 12 - Controle do drone Dji Spark.....	47
Figura 13 - Plano de voo.....	48
Figura 14 - Fachada frontal e cobertura.....	49
Figura 15 - Tela de importação de varreduras do Recap.....	50
Figura 16 - Ajuste de parâmetros de escaneamento do Recap.....	51
Figura 17 - Processo de registro de cenas no Recap.....	52
Figura 18 - Mapa de visualização gerado pelo software Scene.....	53
Figura 19 - Compilação de imagens através do Recap Photo.....	54
Figura 20 - Seleção dos arquivos de saída.....	54
Figura 21 - Aba de comandos para inserção da nuvem de pontos.....	55

Figura 22 - Nuvem de pontos inserida no Revit.....	56
Figura 23 - Corte e níveis.....	56
Figura 24 - Planta do pavimento térreo.....	57
Figura 25 - Família de cabines individuais para estudo.....	57
Figura 26 - HTC Vive.....	58
Figura 27 - Oculus Rift DK2.....	58
Figura 28 - Xbox One joystick.....	59
Figura 29 - Barra explorar do software Scene.....	60
Figura 30 - Samsung Gear VR.....	60
Figura 31- Samsung Gear VR.....	61
Figura 32 - Apple iPad Air.....	62
Figura 33 - Vista isométrica da nuvem de pontos bruta da biblioteca.....	63
Figura 34 - Vista isométrica da nuvem de pontos tratada da biblioteca.....	64
Figura 35 - Nuvem de pontos da cobertura.....	64
Figura 36 - Malha gerada pelo Recap Photo.....	65
Figura 37 - Relatório gerado pelo Recap Photo.....	66
Figura 38 - Relatório gerado pelo Recap Photo.....	66
Figura 39 - Nuvem de pontos unificada.....	67
Figura 40 - Nuvem de pontos unificada exportada para o Scene.....	68
Figura 41 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	70
Figura 42 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	71
Figura 43 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	72

Figura 44 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	73
Figura 45 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	74
Figura 46 - Comparação entre nuvem de pontos e modelo híbrido.....	75
Figura 47 - Modelo final.....	76
Figura 48 - Visualização da nuvem de pontos através da realidade virtual.....	78
Figura 49 - Visualização do modelo BIM através da realidade virtual.....	79
Figura 50 - Visualização do modelo em realidade aumentada.....	80
Figura 51 - Visualização do modelo em realidade aumentada.....	80

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Resumo da evolução dos equipamentos de medição.....	22
Quadro 2 - Principais classes de laser e algumas de suas características.....	26

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>PESQUISA DE REFERÊNCIAS.....</b>	<b>17</b>
3.1	História do BIM.....	18
3.2	BIM Utilizado no Aeroporto de Londrina, PR.....	22
3.3	História do Escâner 3D.....	23
3.4	Tecnologia Laser .....	25
3.5	Dispositivos de escaneamento 3D.....	28
3.6	Escaneamento no Museu Imperial.....	29
3.7	A Utilização do 3D Laser Scanning para Levantamento de Fachadas:.....	30
3.8	Aleijadinho 3D: Tecnologia na Difusão e Preservação do Patrimônio Cultural.....	32
3.9	Realidade Virtual (V.R.).....	34
3.10	Realidade Aumentada (R.A.) .....	34
3.11	Aerofotogrametria com auxílio de VANT .....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>40</b>
4.1	Escaneamento 3D .....	41
4.2	Aerofotogrametria com auxílio de VANT .....	46
4.3	Nuvem de Pontos.....	49
4.4	Modelo bim .....	55
4.5	Realidade Virtual (V.R.).....	58
4.6	Realidade Aumentada (R.A.) .....	61
<b>5</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>63</b>
5.1	Nuvem de pontos.....	63
5.2	Modelo bim .....	68
5.3	Realidade virtual (vr).....	77
5.4	Realidade Aumentada (AR).....	79

<b>6</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>81</b>
<b>7</b>	<b>Sugestões para novos trabalhos.....</b>	<b>84</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje a inserção da tecnologia na construção civil se encontra presente nos escritórios desenvolvedores de projetos, no canteiro de obras e até mesmo na gestão do pós-obra. A fim de otimizar a produtividade das atividades de cada segmento da engenharia civil, que no passado era caracterizada por métodos rudimentares, tecnologias passaram a ser estudadas e inseridas no mercado.

Na história recente da construção civil, os processos de projeto, construção e gestão têm sido beneficiados com as funcionalidades introduzidas pelas novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), como a Modelagem da Informação da Construção (BIM), particularmente para as edificações complexas. Contudo, esses benefícios alcançam prioritariamente as novas edificações. (DEZEN-KEMPTER et al., 2015, p.114).

Diferente de um simples modelo 3D, a plataforma BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros, empreendedores, clientes e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual exato, o qual contempla uma base de dados que abrange tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, cálculo energético e previsão de fases da construção, e demais atividades. Tendo em vista essas considerações percebemos que a tecnologia BIM é uma excelente ferramenta de gerenciamento de obras, a qual abrange todas as áreas envolvidas em um projeto, desde a preparação e estudos prévios, até mesmo a execução, entrega e acompanhamentos posteriores. Abrangendo assim não só o 3D, mas também, 4D, 5D e até mesmo o 6D. (MENEZES, 2011).

Pesquisas recentes indicam que, quando se trata de grandes cidades, o índice de novas construções passou a diminuir enquanto aumenta o número de processos de reforma e manutenção do estoque de edifícios existentes, inclusive com o intuito de adaptá-los às modernas condições de habitabilidade e sustentabilidade. Nos Estados Unidos, este índice está entre 2 a 3% do estoque de edificações existentes por ano. (BROWN et al., 2005 apud KLEIN et al., 2012)

Portanto este projeto trata-se sobre tecnologias recentes e inovadoras que entraram no mercado da engenharia sendo elas: escaneamento a laser 3D, aerofotogrametria com auxílio de drone, BIM, realidade virtual e realidade aumentada.

O escaneamento 3D a laser é um procedimento realizado por um equipamento constituído por um emissor de feixes de laser que ao atingir uma superfície, retorna ao scanner com as informações tridimensionais de cada ponto encontrado.

A aerofotogrametria com o auxílio de VANT (veículo aéreo não tripulado), é uma forma de levantamento que tem como instrumento responsável pela execução um Drone, equipamento este capaz de capturar uma serie de imagens enquanto o mesmo encontra-se em movimento.

A Realidade Virtual (V.R.) por sua vez é uma das tecnologias mais imersivas que o mercado proporciona, os óculos de realidade virtual têm como objetivo criar uma experiência ao usuário de estar presente em ambiente virtual diferente do real.

Enquanto a Realidade Aumentada (R.A.) é designada por mesclar a realidade virtual e o mundo real através de câmera e sensores de movimento. A imersão da realidade aumentada não é completa como a realidade virtual, porém este não é o objetivo desta tecnologia, seu foco é a interatividade entre elementos virtuais e reais.

## 2 OBJETIVOS

O enfoque deste trabalho é, elucidar os conceitos sobre a tecnologia BIM, escaneamento a laser 3D, Aerofotogrametria com auxílio de VANT, realidade aumentada (R.A.) e realidade virtual (R.V.), embasados por pesquisas de informações do cenário nacional e internacional. O trabalho aplicará estes conhecimentos em um escaneamento a laser e levantamento aerofotogramétrico do prédio da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia, situado no campus de São Caetano do Sul. Abrangerá não só a parte interna da edificação, bem como a fachada e o telhado. Este material servirá para alimentar uma nuvem de pontos que será tomada como base para o modelamento 3D BIM a fim de obter o *As Built* do edifício e posteriormente exportá-lo para ambientes de realidade virtual e aumentada.

### 3 PESQUISA DE REFERÊNCIAS

A construção civil é uma das áreas da engenharia mais antigas, ou talvez, a mais antiga. Com os avanços tecnológicos, esta foi se mantendo ausente a inovações principalmente quando nos referimos ao Brasil. Caracterizada por processos rudimentares sendo eles: elaboração de inúmeras plantas físicas, métodos de construção pouco produtivos, desperdício excessivo de material, tempo de planejamento reduzido. “A tecnologia BIM representa um novo caminho para a representação do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do real ciclo de vida da construção” (CRESPO; RUSCHELL, 2007, p. 2). Esta ferramenta é mais que um modelo de visualização e desenhos CAD, é um modelo digital acompanhado de um banco de dados que permite armazenar informações de diversas finalidades. Além da unificação das plantas e informações existentes no ciclo de vida de uma obra de engenharia civil, tem-se o aumento de produtividade e racionalização do processo construtivo.

Atualmente existe uma necessidade de se acompanhar a obra por toda a sua vida útil, por isso surge a necessidade de submeter o edifício a simulações e análises patológicas. Para corrigir isto, o escaneamento 3D, possui uma elevada importância, uma vez que é possível ter o *As Built* do local desejado a partir de levantamentos feitos in loco que gerarão uma nuvem de pontos que pode ser acessada digitalmente.

Através do escaneamento 3D geramos a nuvem de pontos, que é um sistema de coordenadas tridimensionais geradas pelo Scanner, estes pontos são definidos por coordenadas X, Y e Z e tem como objetivo representar a superfície de um objeto ou no caso a edificação.

No que se refere ao levantamento de telhados e coberturas das edificações, uma excelente solução adotada para esta atuação é o levantamento aerofotogramétrico com o auxílio de VANT, uma vez que o mesmo é capaz de capturar uma série de imagens que servirão para alimentar uma nuvem de pontos que será gerada através do resultado deste levantamento.

“O uso da nuvem de pontos será cada vez mais comum e frequente. A notória redução dos custos dos equipamentos e dos serviços tem facilitado o acesso a essa tecnologia” (CATELANI, 2016 p.5).

As realidades virtuais e aumentadas, conhecidas mais no ramo de jogos eletrônicos, possuem, no cenário atual, grande efetividade em apresentar os recursos previamente citados de forma mais imersiva e interativa.

A quarta revolução industrial, também denominada como indústria 4.0, utiliza-se desta tecnologia para as seguintes finalidades:

- Redimensionamento de layout para inserir ou substituir linhas de produção, feito a partir de um modelo de nuvem de pontos e tecnologia BIM.
- Visitas técnicas, utilizando a realidade virtual.
- Treinamento de funcionários a partir de modelos 3D em realidade aumentada e virtual.

Também pode ser visto as utilizações na engenharia civil:

- Acompanhamento de obra, a partir de escaneamentos 3D feitas em intervalos de tempo e assim ver a evolução da mesma.
- Gestão do pós obra e controle de manifestações patológicas, utilizando a tecnologia BIM, gerando uma economia para a administradora que se responsabilizará por esta fase da obra.
- Apresentação de modelos em realidade virtual para os consumidores finais da obra, descartando a existência de modelos físicos que serão posteriormente desmontados.

### 3.1 HISTÓRIA DO BIM

O mais antigo exemplo do conceito do que se conhece hoje como BIM é o protótipo do “Building Description System” publicado no, atualmente extinto, AIA Journal, pelo norte-americano Charles M. “Chuk” Eastman, na instituição Carnegie-Mellon University, 1975 (Jerry Laiserin,). Esse trabalho continha noções de BIM, hoje em dia comuns, como por exemplo, derivar seções, planos, isométricos ou perspectivas com base em elementos anteriormente modelados; evitar o redesenho, tendo em vista que as alterações são atualizadas automaticamente em todos os desenhos derivados; possibilitar o acoplamento direto da análise quantitativa à descrição dos materiais durante a modelagem, com projeções de custo ou quantitativos de materiais sendo gerados com facilidade, enquanto um banco integrado de dados é alimentado;

gerar código automatizado para checagem da edificação na prefeitura ou no escritório de arquitetura; facilitar a tarefa dos empreiteiros de grandes obras, no tocante ao usufruto de vantagens como agendamento e encomenda de materiais. (MENEZES, 2011, p.156).

Trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, no mesmo rumo ao de Chuck Eastman, foram concebidos durante o final da década de 1970 e início da de 1980, na Europa e, principalmente, no Reino Unido, acompanhando os esforços iniciais de comércio dessa tecnologia. Nos primeiros anos da década de 1980, ganhou-se força nos Estados Unidos a abordagem deste tema como, "Building Product Models" (Modelos de Produtos da Construção) e em paralelo na Finlândia como "Product Information Models" (Modelos de Informações do Produto), sendo o termo “produto” designado como forma de diferenciação entre os modelos de “processo”

Na sequência evolutiva desta nomenclatura, sendo interligados, building product model e product information model gerou-se o building information model (Modelo da Informação da Construção). Entretanto, o holandês Gebouwmodel foi usado ocasionalmente dos meados ao final de 1980, em um contexto que, sem dúvida, poderia ser traduzido para o inglês como Building Information Model no lugar da tradução literal "Modelo da Construção". Em contra prova, a primeira utilização documentada do termo building modeling, em inglês, com o sentido de building information modeling, como é conhecido atualmente, surgiu no título de um artigo datado de 1986, de autoria de Robert Aish, então com a GMW Computers Ltd., fabricante do lendário sistema de software RUCAP, que posteriormente fez parte da Bentley Systems (EASTMAN et al., 2008). Neste referido artigo, o autor estabelece todos os argumentos para o que hoje conhecemos como BIM e a tecnologia para implementá-lo, incluindo modelagem 3D, extração de desenho automático, componentes inteligentes paramétricos, bancos de dados relacionais, faseamento temporal dos processos de construção entre outros (AISH, 1986).

A transição de "Modelo da Construção" para Building Information Model, foi documentada pela primeira vez em inglês em um artigo de G.A. van N ederveen e F. Tolman em dezembro 1992: Automation in Construction. (VAN NEDERVEEN & TOLMAN, 1992).

Assim como a nomenclatura e os esforços de P&D centrados no meio acadêmico, os produtos comerciais que implementavam a abordagem BIM

(sob qualquer dos apelidos comerciais na época) também têm uma longa história. Muitas das funções do software e dos comportamentos atribuídos à geração atual das ferramentas de modelo padrão, como Allplan, ArchiCAD, Autodesk Revit, Bentley Building, DigitalProject ou VectorWorks, também foram os objetivos de projeto de esforços iniciais de software comercial, como: a versão britânica do RUCAPS (citado acima) para Sonata e Reflex; outra versão britânica do Oxsys para BDS e GDS (este último ainda está disponível como MicroGDS); uma versão francesa, que incluiu Cheops e Architrion (o espírito que vive em BOA); Brics (um sistema Belga que forneceu a principal tecnologia para Bentley's Triforma), o sistema de modelagem da companhia americana Bausch & Lomb (1984); os esforços de Intergraph com Master Architect, além de muitos outros. (EASTMAN et al., 2008).

Em 2005, foi organizada a First Industry-Academic Conference em BIM, por Charles Eastman e Laiserin, em conjunto com Paul Teichloz. Desde então a divulgação do modelo BIM ganhou patamares mais elevados em relação a popularidade. Com surgimento de Workshops, conferências e publicações ao redor do mundo, discutindo sobre a aplicação desta plataforma, benefícios e dificuldades para a implantação da mesma para com construtores, projetistas entre outros. Contemplam não só a parte de desenvolvimento de projetos, bem como, execução e acompanhamento ao longo da vida útil da edificação.

No final de 2006, a tecnologia BIM chegou ao Brasil e mesmo apresentando vários motivos para a utilização da plataforma, o mercado ainda mostra um pouco de resistência e desconhecimento quanto à implantação, principalmente quando se trata da questão financeira, pois esta inovação apresentava um custo elevado e muitas vezes inacessível para empresas do cenário nacional.

Muito já se debateu em congressos e seminários sobre o desafio da implantação do BIM no Brasil, suas dificuldades, investimento alto, falta de mão de obra e falta de padrões de desenho brasileiros, assim como ocorreu no final dos anos 80 com o surgimento da tecnologia CAD (Computer Aided Design) no mercado brasileiro. E essa transição passou por diversas dificuldades na época, chegando aos dias atuais como uma ferramenta indispensável para a construção civil.

Parte do mercado começou a se articular e representa um avanço em termos de qualificação de mão de obra na plataforma BIM, principalmente quando se refere aos jovens, estudantes de engenharia e arquitetura e os recém ingressantes no mercado, em relação aos mais velhos e experientes, ainda existe resistência e falta de mobilização. Algumas indústrias fornecedoras da construção já criaram suas bibliotecas, ajudando a impulsionar as demais companhias a seguir a mesma cadeia, empresas do ramo da construção já possuem setores voltados a estudos desta tecnologia, mas ainda não se chegou ao ponto em que a ferramenta pode proporcionar todos os seus benefícios.

Algumas partes do governo e entidades de classe também estão na busca de se aperfeiçoar nessa tecnologia e avançar, como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), Exército Brasileiro, entre outros estão desenvolvendo normas para atender o padrão de BIM. Além disso, alguns órgãos do governo já se arriscaram a solicitar projetos em BIM demandando uma readequação dos projetistas. O mercado está se tornando bastante competitivo na construção civil e o Brasil tem o dever de se adaptar para a sua própria sobrevivência. O custo da tecnologia deve ser visto como um investimento que trará mais produtividade, desde que utilizado corretamente. (CREA-AL 2017).

Inicialmente, analisando a diferença entre um simples software de modelagem 3D e o software BIM, pode-se verificar, para este último, a sua capacidade de gerar objetos paramétricos. É a parametricidade que possibilita gerar objetos editáveis que podem ser alterados automaticamente e servir de suporte à plataforma BIM. Essa capacidade diferencia o *software* de só mais um modelador de objetos tridimensionais (ROSSO, 2011).

Quando se alimenta o banco de dados BIM com um parâmetro “tempo”, com esta inclusão gera-se, um projeto 4D, análise das etapas da construção do edifício.

Referindo-se ao 5D-BIM, a empresa norte-americana VICO Softwares apresenta como potencialidades da plataforma: fornecer cronograma de custos; mostrar ao proprietário o que acontece com o cronograma e o orçamento quando é executada alguma alteração no projeto; organizar seu banco de dados com custos e preços de informação, taxas de produtividade do trabalho, dados de composição da equipe,

detalhamento do indicador-chave de desempenho, que é responsável por medir o nível de desempenho do processo, focando no “como” e indicando quão bem os processos de tecnologia da informação permitem que o objetivo seja alcançado); proporcionar diversas e iterativas evoluções de estimativas, para que o proprietário possa rapidamente fazer comparações com o custo-alvo. (MENEZES,2011, p 154).

O 6D BIM tem a função de acomodar informações sobre o ciclo de vida útil da edificação, sendo essas informações por exemplo: manutenções preventivas executadas após a entrega.

### **3.2 BIM UTILIZADO NO AEROPORTO DE LONDRINA, PR**

Um importante exemplo da utilização da tecnologia BIM no Brasil em uma obra de grande porte é o projeto da Infraero, uma das três maiores operadoras aeroportuárias do mundo, administra 54 aeroportos espalhados pelo Brasil, com mais de 100 milhões de passageiros transportados ao ano, representando cerca de 60% do movimento aéreo no país.

Este trata da modelagem do Aeroporto Governador José Richa (SBLO), situado na cidade Londrina/PR, que foi inaugurado em 1949 e possui um sítio aeroportuário de 727.000 m<sup>2</sup> e um terminal de 5.820 m<sup>2</sup>, com capacidade para transportar até 2,6 milhões de passageiros por ano. Em 2017, foram realizadas 22.250 operações de pousos e decolagens, transportando quase um milhão de passageiros e fazendo do SBLO o 3º maior Aeroporto do Estado do Paraná e o 4º da região Sul do país.

O Projeto Aeroporto Digital de Londrina é um projeto piloto desenvolvido com auxílio da plataforma BIM, o pioneiro do Brasil, com grande importância no cenário nacional, já que servirá de modelo para todos os outros 54 aeroportos sob responsabilidade da Infraero, bem como torná-lo referência para os demais aeroportos concedidos no país.

O “Aeroporto Digital” tem por objetivo promover integração e colaboração entre as diversas áreas da empresa e servirá de repositório central de mapas, infraestruturas, edificações, sistemas prediais, dados de gerenciamento de instalações e outros dados relevantes referentes ao Aeroporto de Londrina, oferecendo acesso rápido a informações atualizadas e dinâmicas,

contribuindo para gestão eficiente de todo o ciclo de vida dos ativos aeroportuários. Trata-se de um facilitador estratégico para melhor tomada de decisão em relação as edificações e empreendimentos de infraestrutura, podendo ser aplicado a futuros projetos de construção ou ampliação e ser utilizado para reformas e manutenções dos ambientes construídos.

Para realização deste projeto pioneiro no Brasil, a equipe de Implantação BIM da Infraero optou por utilizar as soluções AECOSim Building Designer, Microstation, OpenRoads Designer, MAP, ProjectWise e Synchro da Bentley Systems.

Esta modelagem irá alavancar futuros estudos na área de ampliação aeroportuária, estudos de demanda, capacidade e fluxos de passageiros, com a intenção de aprimorar os níveis de serviços e conforto de passageiros, além de realizar estudos de interferência e impacto com o sistema de mobilidade urbana da cidade, sendo futuramente uma base para obras de “Aeroporto Inteligente” integrado à “Cidades Inteligentes”.

Todas as informações aeroportuárias farão parte das bases de dados da Prefeitura de Londrina, facilitando assim a gestão da informação para os governantes. (INBEC, 2018).

### **3.3 HISTÓRIA DO ESCÂNER 3D**

A história da técnica em geral, e da Topografia e Geodésia em particular, comprova que há invenções e construção de equipamentos que modificam profundamente os métodos de levantamento, propiciando medições mais precisas, confiáveis, cômodas e muitas vezes mais econômicas. O Quadro 1 apresenta um resumo dos principais equipamentos, indicando a época aproximada de sua invenção ou desenvolvimento, local de origem e função. (GONÇALES,2007).

QUADRO 1 - RESUMO DA EVOLUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

<b>Instrumento</b>	<b>Ano</b>	<b>Origem</b>	<b>Função</b>
Corda Graduada com nó	1400 ac	Egito	Medição de distâncias e construção de ângulos retos
Odômetro	20	Império Romano	Medição de distâncias percorridas por veículos
Corrente	1550	Holanda	Medição de distâncias
Teodolito	1571	Inglaterra	Medição de ângulos horizontais e verticais
Telescópio	1608	Holanda	Formação de imagem ampliada de um objeto distante
Nível	1704	EUA	Medição de desnível
Trânsito	1831	EUA	Medição de ângulos verticais e horizontais
Trena de aço	1870	EUA	Medição de distâncias horizontais
Altimetro	1877	França	Determinação de altitudes através da pressão
Teodolito com micrômetro	1922	Alemanha	Medição mais precisa de ângulos horizontais e verticais
RADAR	1935	Inglaterra	Medição de distância e velocidade
Nível automático	1950	Alemanha	Medição de desnível com horizontalização automática
Geodímetro	1953	Suécia	Medição de distâncias de forma mais cômoda
Telurômetro	1957	África do sul	Medição de distâncias
Nível a Laser	1968	Alemanha	Medição de desnível
Teodolito eletrônico	1970	Alemanha	Medição de ângulos horizontais e verticais
Estação Total	1971	Alemanha	Medição de distâncias e ângulos
GPS	1973	EUA	Posicionamento e navegação
Nível Digital	1990	Suíça	Medição de desnível
Laser Scanner 3D	-	-	Medição de distâncias inclinadas, intensidade e cor dos objetos.

FONTE: GONÇALES,2007

De todos esses equipamentos, pode-se destacar, para o presente trabalho os medidores eletrônicos de distâncias, como precursor do laser scanner 3D. O primeiro desse tipo foi o Geodímetro, inventado em 1947, sendo bastante utilizado para medir a velocidade da luz sobre distâncias conhecidas e, a partir de 1953, para medir distâncias. O segundo equipamento foi o Telurômetro, desenvolvido em 1957 que utilizou, em vez da tecnologia eletro-óptica do primeiro, a de microondas (BRANDALIZE et al., 2004).

### 3.4 TECNOLOGIA LASER

A possibilidade de criação de lasers foi prevista teoricamente por Albert Einstein em meados de 1917. A mecânica quântica, então em desenvolvimento, indicava que átomos e moléculas absorvem e liberam energia em quantidades determinadas e descontínuas (quanta). Einstein previu que seria possível estimular um corpo a liberar energia em forma de radiação eletromagnética com características uniformes e consistentes.

Devido às condições técnicas existentes, somente na década de 50 foi possível iniciar as pesquisas propostas por Einstein.

Em 1954 apareceu um novo conceito na produção de radiação eletromagnética. Anteriormente a eletrônica se restringia ao uso e controle da energia e dos elétrons livres que se movimentavam de um átomo para outro. Mas a partir dessa data começou-se a aproveitar o estado de energia existente dentro dos átomos para produzir ondas eletromagnéticas. (GONÇALES,2007).

Segundo Leinwoll (1969), o primeiro dispositivo capaz de amplificar e gerar radiação eletromagnética por métodos subatômicos funcionava em uma frequência de 24.000 MHz, na região das microondas no espectro eletromagnético, e se denominava MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Em 1958 foi proposto um método para construir uma MASER para ondas eletromagnéticas na região do visível. Sabia-se que todos os sistemas atômicos podem se associar a certos níveis de energia característicos. Normalmente, os sistemas se encontram em repouso em seu nível energético mais baixo, mas ao absorver energia passam para um estado excitado. Este estado não é o natural de nenhum sistema atômico, portanto ele tende a voltar a seu estado de repouso, efetuando esse regresso da maneira mais simples possível. (GONÇALES,2007).

A. L Schawlow e C. H Townes realizaram testes e descobriram que um fóton que se excitasse dentro de um dispositivo de espelhos interagia com outros átomos energizados emitindo assim outros fótons. De acordo com sua teoria, no caso de fótons que se movessem perpendicularmente ao plano dos

espelhos, chocariam uns com os outros e seriam refletidos para outro espelho que foi montado no dispositivo. Com essas sucessivas alterações no estado físico dos átomos a intensidade dessa transformação ia aumentando o suficiente para atravessar um dos espelhos de forma coerente (LEINWOLL, 1969).

Foi proposto o desenvolvimento de um dispositivo semelhante com sistema de espelhos semitransparentes para facilitar a saída da maser. Já em 1960, Theodore Maiman testou cinco diferentes materiais usando o mesmo princípio de espelhos. Nascia a partir daí a primeira maser ótica que foi denominado de Loser (Light Oscillation by Stimulated Emission of Radiation), mas Loser significa perdedor e o nome foi trocado para laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

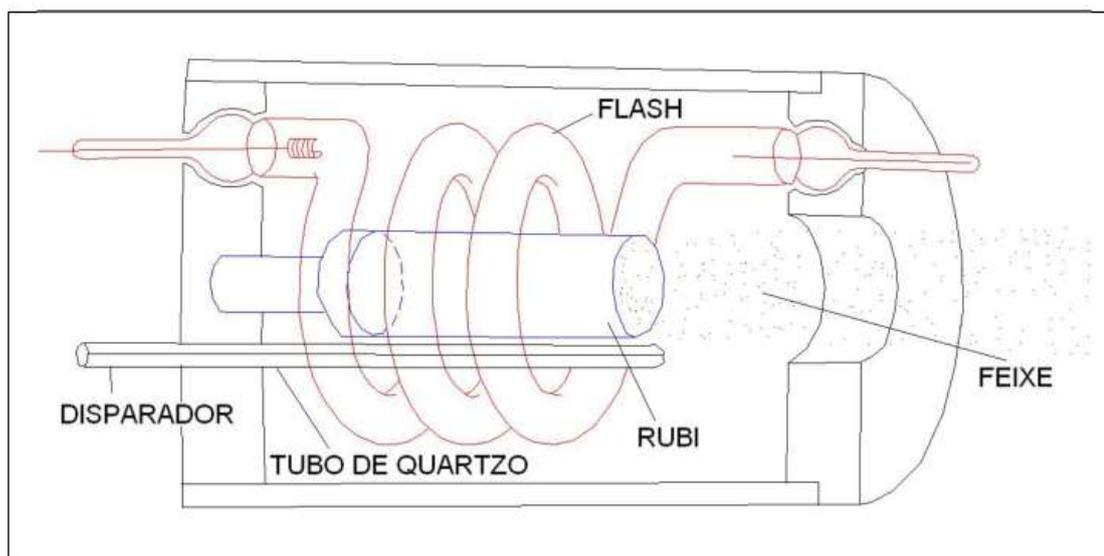
O laser por definição é um dispositivo que amplifica a luz através de estimulação da radiação. Na prática, um laser é geralmente usado como uma fonte ou gerador de radiação. O gerador é construído adicionando um mecanismo de retorno em forma de espelhos para amplificar a potência da luz (LENGYEL, 1967).

Sabe-se que a luz se propaga em todas as direções; desse modo o laser foi criado e pesquisado para que fosse possível controlar os feixes de luz, podendo assim concentrar a sua energia em uma única direção. Isso é possível, pois, em um fóton emitido por estimulação de outro fóton, ambos possuem a mesma frequência, a mesma fase e a mesma direção (LEINWOLL, 1969).

Segundo Leinwoll (1969), Theodore Maiman utilizou um cristal de rubi, em que a cor era determinada pela quantidade de cromo existente no óxido de alumínio. O rubi de maser de Maiman tinha em torno de 0.05% de cromo, o que deixava o cristal levemente rosado. Maiman utilizou um cilindro de rubi rosa com um diâmetro entre 0,5 e 1 cm com um comprimento de 2 a 10 cm, com as faces limites desse cilindro paralelas e com um grande grau de precisão. Um dos lados era constituído de uma superfície completamente refletiva e a outra extremidade com uma refletividade parcial. O rubi era irradiado por um flash geralmente por alguns milissegundos com uma energia de 1000 a 2000 joules. A maioria da energia era dissipada com o calor. Uma fração dessa energia, geralmente, era emitida pelo flash em radiação de verde a azul, a qual era absorvida pelo rubi.

Essa energia gerava a excitação dos fótons e o rubi afunilava a energia sendo absorvida sobre uma larga faixa do espectro eletromagnético. A radiação emerge coerentemente através da superfície parcialmente refratante do rubi (LENGYEL, 1967).

FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DO APARELHO DESENVOLVIDO POR THEODORE MAIMAN



FONTE: ADAPTADO DE LENGYEL, 1967

Segundo GONÇALES (2007), o princípio de funcionamento do laser envolve o fornecimento de energia a certos materiais adequados, provocando assim uma descarga desta energia na forma de radiação desejada. A cor de um laser é determinada com grande exatidão pela natureza do corpo emissor e pelas características de excitação. Enquanto as fontes comuns de radiação emitem um fluxo radiante distribuído por um amplo espectro de comprimento de onda, contínuo ou descontínuo, a emissão do laser é restrita a uma banda muito estreita do espectro eletromagnético, o que o torna efetivamente monocromática.

Além de sua coerência espacial, o laser é igualmente coerente no tempo, por causa das condições de formação do feixe de radiação. Esta precisão temporal torna os raios laser extremamente úteis à medição.

Existe uma enorme quantidade de tipos de lasers que podem ser classificados de acordo com o meio ativo de emissão de radiação e pelo tipo de emissão (pulsado ou contínuo).

O quadro 2, resume algumas das características para os principais tipos de laser.

QUADRO 2 - PRINCIPAIS CLASSES DE LASER E ALGUMAS DE SUAS CARACTERÍSTICAS

<b>Tipo</b>	<b>Meio ativo</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Potência</b>	<b>Exemplos</b>
Sólido	Vidro ou Cristal dopado com íons (cromo, neodímio)	650 a 2500	< 0,1 W a > 1 Gigawatt	Neomídio, Nd: YAG
Gasoso	Gás atômico	500 a 5000	0,1 a 1 W	He-Ne
	Gás molecular	5000 a 10000	1 W a 100 kW	CO2
	Gás ionizado	260 a 630	20 W (contínuo) > 1 kW (pulsado)	Neônio e Argônio
Líquido	Corante em solução	Sintonizáveis de 400 a 1000	> 1 kW (pulsado)	Rodamina
Semicondutor	Diodos	600 a 1600	1 a 10 W	(AlGa) As, GaAs.

FONTE: GONÇALES (2007)

### 3.5 DISPOSITIVOS DE ESCANEAMENTO 3D

Os dispositivos lasers são classificados por diferentes critérios. Como pode ser verificado pela tabela 2, geralmente eles são identificados de acordo com o meio ativo de emissão de radiação. Em termos gerais, estes são divididos em laser de sólidos ou de fluídos (gasoso ou líquido). Em cada uma destas categorias, encontra-se uma grande variedade de lasers simples ou compostos por combinações de diferentes materiais.

Os equipamentos Laser Scanners 3D utilizam os lasers de sólidos para realizar as medições. Esses são constituídos de quartzo, vidro ou outros materiais cristalinos. Entre esses, destacam-se as granadas, minerais de cristalização isométrica ou cúbica. Prevalece atualmente o uso da granada de ítrio – Alumínio (YAG).

Esses cristais são “dopados” com impurezas cuja emissão é mais intensa ou aproveitável do que a do próprio cristal. Das várias substâncias com esta característica, o Neodímio (Nd), um metal do grupo das terras raras é empregado em lasers de vidro ou de granada (Nd:YAG).

Esse tipo de laser geralmente emite onda com comprimento de ondas de 1064 nm, no infravermelho. Alguns equipamentos operam com comprimentos de onda na região do visível (532 nm – verde). Para tal é necessário dobrar a

frequência de emissão, fazendo com que o comprimento de onda se divida por dois num processo chamado na literatura inglesa de *frequency doubling*. (GONÇALES,2007).

### 3.6 ESCANEAMENTO NO MUSEU IMPERIAL

A Autodesk, em parceria com a Leica Geosystems, Drone Imperial e Realize Tecnologia, iniciou, no final de 2017, um projeto para preservar digitalmente o Museu Imperial, mais popularmente conhecido como Palácio Imperial, localizado em Petrópolis, Rio de Janeiro. O edifício de arquitetura neoclássica é datado de 1862, foi o antigo Palácio de verão do Imperador brasileiro Dom Pedro II e atualmente está entre os 10 museus mais visitados do Brasil.

Com o projeto de modelagem recentemente finalizado, o objetivo é gerenciar melhor as questões de preservação do Palácio, bem como criar experiências para os visitantes. Possibilitando, detalhadamente por exemplo, calcular com precisão a quantidade de tinta necessária para preservar a pintura do local e tirar dados quantitativos. Com as imagens captadas é possível propiciar ao público uma vivência em realidade aumentada, visitas virtuais, maquete em 3D, entre outras iniciativas.

Este trabalho teve início com todo o escaneamento detalhado do Museu e, após todos os processos de criação da nuvem de pontos com o Recap, o projeto foi continuado em Revit.

Por se tratar de um edifício de 1862, em arquitetura neoclássica, nada estava documentado digitalmente. Inicialmente foram criadas famílias como, por exemplo, de portas, janelas e colunas. Tudo teve que ser desenvolvido no Revit e, com a nuvem de pontos, esse trabalho foi infinitamente mais preciso e ágil.

A nuvem de pontos ajudou também, na questão de modelagem da ornamentação rebuscada da fachada de todo o edifício. Quando transportada para o Revit, a mesma pode ser editada em relação a cortes e seções, o que facilitou o trabalho de desenvolvimento de elementos que não eram facilmente modelados apenas em vistas frontais.

Um ponto crítico na hora da modelagem foi a parte superior do edifício. Pois o laser foi posicionado no chão para o escaneamento, algumas partes do edifício ficaram “sombreadas” e não foram registradas. Nesse caso, isso aconteceu por conta de o projeto ter o primeiro

pavimento mais largo que o segundo. Por isso se tornou imprescindível a necessidade de um levantamento aerofotométrico com o auxílio de um drone para a criação de uma segunda nuvem de pontos, aérea. Este segundo levantamento foi utilizado para a modelagem do telhado.

Com a nuvem de pontos tudo se tornou mais claro na hora de modelar, gerando facilidade ao verificar se algo estava ou não dentro das medidas e proporções do edifício, tornando assim o projeto muito mais rápido e eficiente. (MUNDO AEC, 2018)

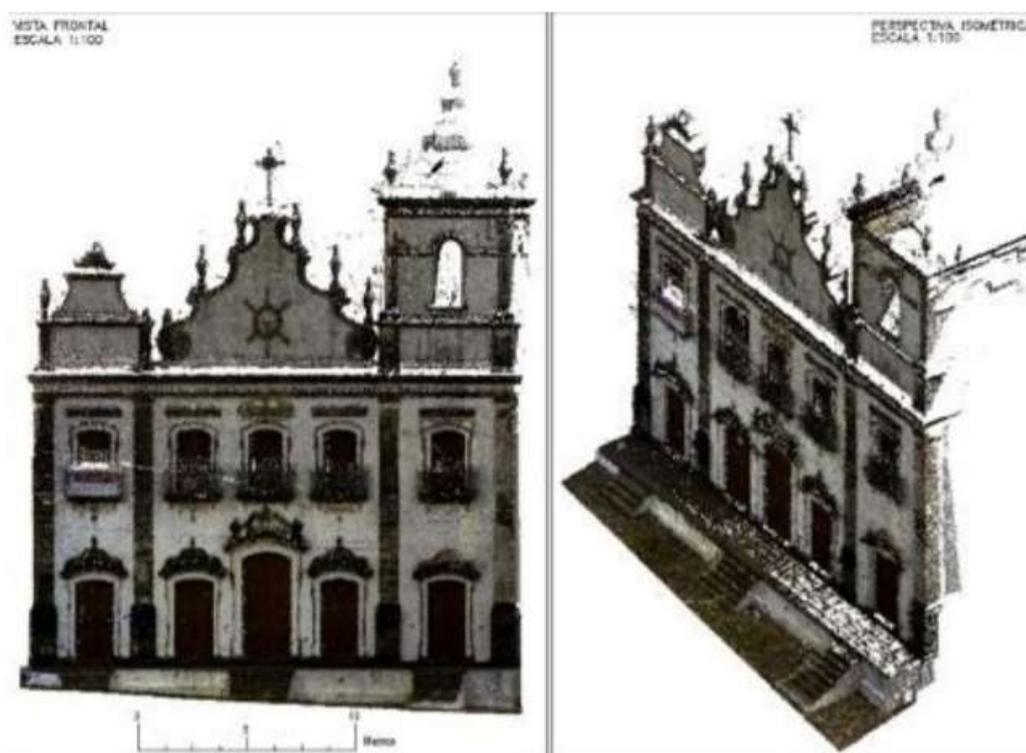
### **3.7 A UTILIZAÇÃO DO 3D LASER SCANNING PARA LEVANTAMENTO DE FACHADAS:**

Segundo Mateus (2012) ao se tratar de conservação, restauro e reabilitação o tipo de representação gráfica pretendido é o que permite expor de forma lógica, estruturada, visual e acessível o maior número de superfícies, espaços e características do objeto construído sob análise tornando-a passível de relacionar-se com outro tipo de informação, que pode não ser gráfica, constituindo o suporte para as várias análises a realizar e posterior planeamento de ações, tendo em conta que em função do maior ou menor nível de profundidade das intervenções, diferentes níveis de detalhe da documentação podem ser considerados. O 3D Laser Scanning possui um elevado custo, mas é uma técnica bastante avançada. Esse sistema é de enorme precisão capaz de executar varredura de milhões de pontos por segundo, definindo com exatidão as posições destes pontos no espaço. Trabalha através de um sistema de coordenadas esféricas. Seus pontos são amarrados através dos ângulos  $\phi$  e  $\theta$ . A utilização deste equipamento para execução de levantamentos de fachadas é especialmente recomendada para levantamento de formas complexas como fachadas muito trabalhadas, visto que representa os volumes com precisão. Sendo assim, este equipamento é de grande importância para a representação das fachadas de Porto Nacional, obtendo imagens gráficas para possíveis restauros e reabilitações futuras, onde a documentação gráfica constitui um instrumento fundamental para a leitura da arquitetura construída com vista à tomada de opções de intervenção (OLIVEIRA, 2008).

Exemplo da utilização desta técnica pode ser visualizado na dissertação de Henrique José Lins Ferreira de Andrade, mestre pelo Programa de Pós-

Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE, intitulada “Varredura a laser aplicada na reconstrução 3D de bens materiais do patrimônio histórico de Igarassu e Olinda”, que tem por objetivo mostrar como é possível, através de uma técnica ainda pouco conhecida e pouco utilizada no Brasil, conseguir dados precisos no levantamento e na documentação de bens materiais do patrimônio histórico brasileiro (LIMA, 2012).

FIGURA 4 - IMAGEM FINAL DA IGREJA DE IGARASSU APÓS VARREDURA A LASER



FONTE: Calvacante, R. B. L. (2015)

Esse tipo de equipamento pode ser feito através de imagens aérea e terrestre, podendo sua imagem ser obtida a partir de uma plataforma aérea em movimento (por exemplo um avião) ou a partir de uma plataforma terrestre situada ao nível do chão (por exemplo sobre um tripé). No que diz respeito ao levantamento de fachadas interessa considerar apenas o caso terrestre em plataformas estáticas (MATEUS, 2012). Para este tipo de trabalho recomenda-se o uso do scanner de ação ativa que “emite uma radiação, no caso do laser de tipo luminoso, capaz de encontrar a superfície do objeto”. A distância é medida pelo tempo gasto pelo raio luminoso até atingir o objeto e retornar a máquina. A distância que vai definir a posição do ponto no espaço

pode ser representada pela equação onde a distância é igual a velocidade da luz multiplicado pelo tempo para o aparelho emitir a radiação e receber o retorno dividido por dois ( $D = c.t / 2$ ) (OLIVEIRA, 2008). Este equipamento possui câmera fotográfica, onde em alguns deles possui uma câmera digital que permite, pelo seu visor, o enquadramento do campo que vai ser escaneado, oferecendo também uma imagem digital que documenta o setor da varredura.

A tecnologia a laser possui uma grande vantagem em relação a outros equipamentos de captura de imagens no que diz respeito a velocidade de aquisição dos dados, sendo muito mais veloz e com precisão equivalente, além de não sofrer interferência das condições de iluminação. O principal problema dessa tecnologia é o custo elevado do equipamento e programas, e os problemas da reflexão do laser em certos tipos de materiais (BASTIAN, 2013).

Hoje podemos ver que a utilização de escâners 3D e criação de modelos digitais é um recurso muito importante para manutenção, restauração e conservação de edificações históricas tanto no Brasil quanto no mundo, é nítido que um modelo 3D possui uma riqueza de detalhes muito maior que a de uma foto ou outro método de registro das edificações, facilitando em muito o trabalho de engenheiros e arquitetos especializados na área (BASTIAN, 2013).

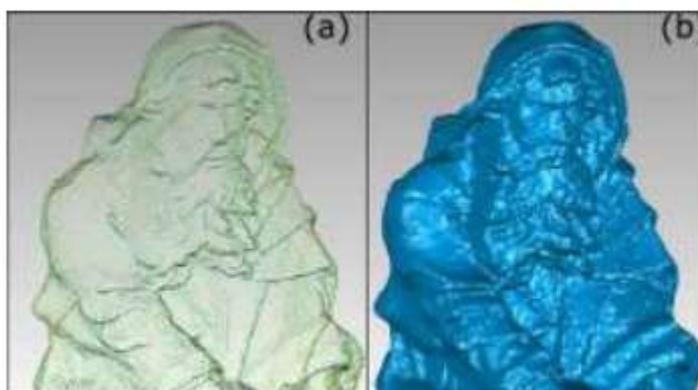
### **3.8 ALEIJADINHO 3D: TECNOLOGIA NA DIFUSÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL**

O tempo passa mais rápido. Com ele, milhares de informações à nossa volta: as distâncias parecem menores; e novos dispositivos nos conectam a um mundo cujo movimento é incessante, imediatista e convulso. As ferramentas disponíveis nos permitem conhecer tradições e realidades distintas; discutir ideias e formas de vivenciar o espaço com maior velocidade e facilidade que na geração de nossos pais. A preservação do patrimônio parte da relação de pertencimento da comunidade (local, turística, etc.) com o bem cultural. Dessa maneira, é necessário conhecer para preservar, garantindo o acesso em diversas instâncias. A conectividade e a tecnologia podem ser consideradas, portanto, fundamentais na divulgação do patrimônio cultural e, sobretudo, em sua preservação. A partir de tais premissas, o projeto “Aleijadinho 3D”,

realizado pela Universidade de São Paulo (USP) e demais parceiros, visa à divulgação, por meio de um portal, de obras atribuídas a Antônio Francisco Lisboa (1730-1814), mais conhecido como Aleijadinho. Considerado um dos maiores expoentes da arquitetura colonial brasileira, sua trajetória é repleta de lacunas e controvérsias. Próximo ao bicentenário de sua morte, o único consenso parece ser acerca da originalidade e importância de suas obras, esculpidas em sua maioria em madeira e pedra-sabão. Neste cenário, para o presente projeto, algumas de suas obras localizadas ao ar livre foram escolhidas para digitalização, justamente por estar em contato com as intempéries e, como consequência, sofrerem um processo de deterioração mais rápido. Especificamente, selecionou-se o Adro do Santuário do Bom Jesus de Matosinhos, em Congonhas do Campo; as igrejas em Ouro Preto: da Ordem Terceira de São Francisco de Assis; Nossa Senhora do Carmo; e Nossa Senhora das Mercês e Misericórdia (“Mercês de Cima”, como é chamada pelos moradores). (GAZZIRO,2013).

A informação tridimensional de cada obra é inicialmente produzida como um conjunto de pontos no espaço, o que é denominado malha tridimensional. Esta malha é a base de todo o trabalho que será realizado em seguida, cujo objetivo é reproduzir computacionalmente uma obra do mundo real. Uma vez que a malha está disponível em um único arquivo combinado, o passo seguinte é denominado triangulação. A triangulação é o processo de se colocar uma superfície em torno de uma malha de pontos; é este processo que torna o escaneamento 3D visualizável, pois não se terá mais apenas pontos, mas sim um objeto que reflete luz e que pode ser percebido da mesma maneira que percebemos as coisas do mundo físico, veja figura 3.

FIGURA 3 - (A) MALHA DE PONTOS 3D DO PROFETA ISAIAS. (B) MALHA DE PONTOS TRIANGULADA.



FONTE: (GAZZIRO, 2013)

### 3.9 REALIDADE VIRTUAL (V.R.)

Desde a invenção do cinema, a possibilidade de imersão em ambientes virtuais vem instigando artistas, engenheiros e profissionais de mídia. Coube a um cineasta, em 1955, a concepção da primeira aplicação de realidade virtual, a um engenheiro, em 1970, a construção do primeiro capacete de realidade virtual e a um profissional multidisciplinar, na década de 1980. Como se vê, apesar de ser relacionada com tecnologia de ponta, o que é verdade, a Realidade Virtual (RV) não é uma área de pesquisa tão recente quanto possa parecer. De fato, a RV trabalha na ponta do desenvolvimento científico e tecnológico, buscando sempre interfaces interativas mais próximas aos sentidos humanos. Contudo, o que hoje é considerado RV pode vir a ser a interface padrão do computador do futuro, e realidade virtual passa a ser a denominação de alguma nova tecnologia, que neste momento está sendo concebida nos laboratórios de pesquisa. Os jogos de computador de hoje, para citar um exemplo, se utilizam largamente de tecnologia de RV não imersiva, mas já não são conhecidos como tal. O termo Realidade Virtual (RV) foi cunhado no final da década de 1980 por Jaron Lanier (BIOCA, 1995), artista e cientista da computação que conseguiu convergir dois conceitos antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca pela fusão do real com o virtual.

No entanto, foi muito antes da denominação definitiva que surgiram as primeiras propostas e os primeiros resultados que alicerçaram a Realidade Virtual. Na década de 1960, logo após criar o Sketchpad, sistema com o qual fícou as bases do que hoje conhecemos como computação gráfica, Ivan Sutherland passou a trabalhar no que chamou de “Ultimate Display” e produziu, no final da década de 1960, o primeiro capacete de realidade virtual, precursor de uma série de pesquisas e desenvolvimentos que hoje possibilitam diversas aplicações. (KIRNER, 2004).

### 3.10 REALIDADE AUMENTADA (R.A.)

*Augmented Reality (A.R.)* – Realidade Aumentada (R.A.) – é designada por mesclar a realidade virtual e o mundo real através de câmera e sensores de movimento. A imersão da realidade aumentada não é completa como a realidade virtual, porém este não é o objetivo desta tecnologia, seu foco é a interatividade entre elementos virtuais e reais.

Quando um recado, mensagem ou informação relevante é anotada em um papel e posteriormente é armazenada e carregada para não ser esquecida, a capacidade natural individual de armazenar e carregar informação é expandida. Também estão se expandindo os meios de armazenar e consultar aquela informação. Ao consultar o papel o indivíduo está acessando por referência algo que ele pode não se lembrar por completo de forma imediata. Claro que pessoas diferentes possuem aptidões diversas para armazenar e consultar diferentes tipos de informação e associá-las com o ambiente à sua volta, por exemplo: distinguir com facilidade música e som, memorizar números, orientação espacial, olfato, tato e inúmeras outras formas de perceber e interpretar o mundo. Através da RA pode-se incrementar a informação visual e espacial com qualquer tipo de conteúdo, por exemplo: através de óculos e visores é possível sobrepor a visão normal com um mapa do local em que uma pessoa está, e depois, acessar visualmente informações regionais como nome de ruas, localização de restaurantes e lojas ou até mesmo traçar uma trajetória até o local desejado baseado na atual posição do usuário. (FERNANDES; G.A, 2012, p. 11)

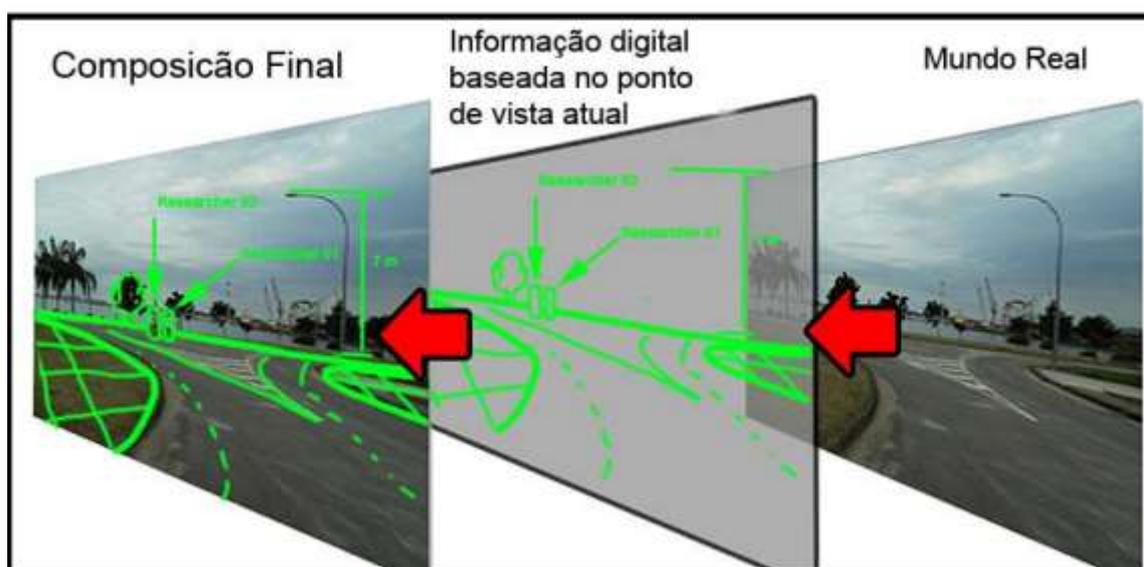
Os constantes desafios técnicos da tecnologia envolvem a melhor composição visual entre informações reais e virtuais, portabilidade e mobilidade do sistema de RA e métodos eficientes de calibração de sensores e câmeras. Enquanto os desafios de implementação tratam de ergonomia, interação, ambientes colaborativos, tangibilidade e associações coerentes com problemas.

Uma experiência em RA visual pode ser feita através de uma janela virtual (Ex.: Tela de computador, tablet ou celular) ou um visor digital (também conhecido como HMD). Em qualquer caso o dispositivo pode ser opaco ou translúcido. Uma vez escolhido o dispositivo de visualização é necessário selecionar o tipo de rastreamento (tracking) que permitirá associar imagem a informações digitais. Rastreamento é o processo de identificar o ponto de vista do usuário, posição e orientação, em relação aos elementos no espaço que possuem informações digitais associadas. O rastreamento pode ser obtido através de sensores de posição/orientação (Ex.: Intersense, GPS, Giroscópios, Ultrassom) e marcadores visuais, também conhecidos como fiduciais, que são identificados por uma combinação de câmeras digitais e algoritmos de visão computacional. Cada técnica possui vantagens em termos de custo,

praticidade, manutenção e limitações em termos de resolução/precisão e gasto computacional. (FERNANDES; G.A, 2012, p. 12 - 14).

A Figura 4 mostra um processo conceitual de composição de RA, onde duas camadas de informação são relacionadas e compostas. O real é capturado e incrementado com conteúdo digital relevante e uma nova realidade é criada, composta de elementos dentro e fora da percepção natural.

FIGURA 4 - PROCESSO CONCEITUAL DE COMPOSIÇÃO REAL-VIRTUAL: BASE PARA REALIDADE AUMENTADA



FONTE: Fernandes, G.A. (2012)

### 3.11 AEROFOTOGRAMETRIA COM AUXÍLIO DE VANT

A construção civil vem passando por um processo de avanços significativos no que diz respeito a incorporação de tecnologias e aplicação da plataforma BIM. Qualquer reabilitação de construções existentes que sejam realizadas sem o uso de BIM e que hoje em dia, demandem sua utilização, requer a modelagem da construção em sua atualidade (*as built*). O modelo 3D pode ser feito através do método *Structure from Motion* (SFM) (PASCOAL JÚNIOR, et al., 2019). Este é executado a partir de imagens digitais, possibilitando uma grande quantidade de pontos, o que é diretamente proporcional a qualidade e maior detalhamento do objeto em estudo. Além de seu fácil uso e barateamento dos custos com relação a tecnologia usada e a redução do tempo

de equipe em campo, para execução dos levantamentos (DE PAOLI; TRINDADE, 2015).

Métodos tradicionais como por exemplo: estações totais, fitas métricas, ou até mesmo tomadas fotográficas geram resultados imprecisos, que ao serem aplicados em larga escala podem causar dificuldades significativas (TANG et al., 2010).

Contraopondo estes problemas, as funcionalidades introduzidas por múltiplos sensores ópticos e técnicas avançadas de fotogrametria surgem no mercado como alternativas para essa tarefa. Sensores laser 3D vem ganhando espaço ao serem utilizados de forma intensa em um processo preciso de detecção de superfície, devido a sua capacidade de coletar densas nuvens de pontos com precisão milimétrica, porém com um alto custo associado, não só ao equipamento, como também na formação de operadores especializados. Dados semelhantes podem ser gerados utilizando-se um elevado número de imagens e algoritmos específicos (BAYRAM et al., 2015) e, ao invés de sensores laser, é possível a substituição por câmeras fotográficas, as quais, podem ser adquiridas por um valor muito inferior aos dos equipamentos capazes de executarem varredura laser, facilitando também a operação (DEZEN-KEMPTER et al., 2019).

A utilização de câmeras de alta resolução acopladas a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) vem se mostrando cada vez mais comum, a explicação para este fato é a excelente relação custo-benefício com a popularização desses equipamentos. No entanto, devido à recente adoção de VANTs para o mapeamento de edificações, as estratégias de aquisição das imagens necessárias à geração dos modelos densos de superfície (DSM) ainda não são largamente difundidas. Além disso, seu emprego recente na área patrimonial ainda representa uma insuficiência para o estabelecimento de metodologias padronizadas para aquisição de imagens. Sendo assim, a falta de um protocolo de aquisição universal com esses aparelhos, torna esse processo, embora efetivo, ainda experimental (MURTIYOSO et al., 2016; CHIABRANDO; DONADIO; RINAUDO, 2015; ACHILLE et al., 2015).

Diferentes procedimentos de aquisição necessitam recomendações como: condições controláveis para calibração dos equipamentos; alta convergência de ângulos de captura; imagens com altíssimas taxas de sobreposição (MURTIYOSO et al., 2016).

Tendo em vista que os VANTs possuem no que diz respeito a mobilidade uma capacidade excelente de locomoção, este fato possibilita que o objeto em estudo seja contemplado em diversos ângulos abrangendo um espectro amplo. Mas existem limitações a essa tecnologia, que variam de acordo com a quantidade de carga que o drone em questão é capaz de suportar, sendo este um limitante para o tipo de câmera que será utilizada ou até mesmo a capacidade dos sensores acoplados ao equipamento, interferindo na qualidade da calibragem do mesmo.

O resultado é uma nuvem de pontos com informações espaciais e de textura, gerada a partir do levantamento, podendo variar quanto à densidade. Para uma estimativa efetiva das estruturas, é indispensável uma quantidade alta de imagens similares rotacionadas (nos eixos vertical e horizontal) além de variações de distância e profundidade. Resolver dificuldades quanto a falta de regularidade na obtenção de imagens não é uma tarefa simples, mas pode ser abordada reutilizando procedimentos adotados em estações fixas de captura e, refletindo na captura as características que fortaleçam a acurácia intrínseca dos algoritmos de geração dos DSM. Sendo assim, dominar cada etapa destes métodos é imprescindível para criação de uma estratégia geral de aquisição com VANT (DEZEN-KEMPTER et al., 2019).

Outro ponto que se deve atentar quando se diz respeito a utilização de VANTs é a questão de legislação, por se tratar de uma tecnologia nova que vem sendo introduzida e a cada dia que passa se torna mais comum.

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) da ANAC é complementar às normas de operação de drones estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Pelo regulamento da ANAC, aeromodelos são as aeronaves não tripuladas remotamente pilotadas usadas para recreação e lazer e as aeronaves remotamente pilotadas (RPA) são as

aeronaves não tripuladas utilizadas para outros fins como experimentais, comerciais ou institucionais.

Os dois tipos (aeromodelos e RPA) só podem ser operados em áreas com no mínimo 30 metros horizontais de distância das pessoas não anuentes ou não envolvidas com a operação e cada piloto remoto só poderá operar um equipamento por vez (ANAC, 2019).

As aeronaves remotamente pilotadas (RPA) estão divididas em três classes, de acordo com o peso máximo de decolagem, no qual deve ser considerado os pesos da bateria ou combustível do equipamento e de carga eventualmente transportada. A classificação é aplicável apenas para as RPA e não para os aeromodelos. (ANAC, 2017)

Classe 1 – Peso máximo de decolagem maior que 150 kg

Classe 2 – Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg

Classe 3 – Peso máximo de decolagem de até 25 kg.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O início do trabalho consiste em uma etapa de pesquisas e entendimentos prévios da parte histórica da utilização dos métodos na construção civil e por conseguinte a utilização das tecnologias BIM, escaneamento 3D a laser, aerofotogrametria com auxílio de VANT, realidade virtual e aumentada em território nacional e internacional.

A utilização das tecnologias citadas exige uma computação gráfica avançada pois trata-se de inovações tecnológicas que chegaram ao mercado recentemente.

Iniciaram-se os trabalhos práticos com a execução de um escaneamento a laser do prédio da biblioteca Eng. Álvaro de Souza Lima do Instituto Mauá de Tecnologia (campus São Caetano do Sul), cuja fachada é visível na figura 5 e aerofotogrametria com auxílio de VANT, para contemplar a parte do telhado que não foi abrangida pelo primeiro levantamento executado. O material gerado por estes dois processos práticos executados em campo serviu para alimentar uma nuvem de pontos. Partindo deste princípio, foi possível prosseguir para a modelagem BIM dos diversos segmentos, sendo eles: estrutura, arquitetura e instalações prediais.

Uma vez com o modelo pronto, pode-se exportar o projeto para as tecnologias subsequentes estudadas, Realidade Virtual (R.V.) e Realidade Aumentada (R.A.), melhorando assim a visualização de cada elemento que contempla a edificação, mostrando que a mesma pode ser simples e interativa, cheia de detalhes. Sendo um método muito eficaz na identificação de patologias e manutenções requeridas ao longo da vida útil do segmento analisado.

FIGURA 5 - BIBLIOTECA ENG. ÁLVARO DE SOUZA LIMA



FONTE: Blog da Maua, 2013

#### 4.1 ESCANEAMENTO 3D

Existem diversos tipos de escâneres 3D no mercado, com finalidades diferentes. Sendo elas, para escaneamento de peças, ambientes externos executados por meio de drones gerados por aero fotometria ou até mesmo de pessoas. No caso deste trabalho utilizou-se o escâner de ambientes internos e externos.

O escâner utilizado é o FARO FOCUS<sup>s</sup> 150, conforme mostrado na Figura 6. Capaz de alcançar um raio de até 75m de distância, com a precisão de até  $\pm 1\text{mm}$ , sendo considerado um dos melhores disponíveis no mercado internacional.

FIGURA 6 - FARO FOCUS<sup>S</sup> 150

FONTE: Produtos FARO (2018)

Além do escaneamento em si, este aparelho realiza um registro fotográficos em 360° do local em que está situado, gerando uma imagem de até 165 milhões de pixel, como apresentado na figura 7. Todas as informações contidas nos levantamentos executados são armazenadas em um cartão de memória inserido internamente do escâner.

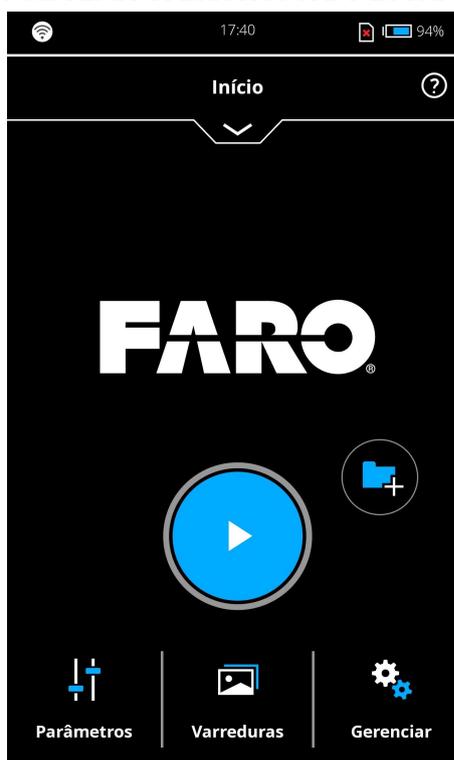
FIGURA 7 - IMAGEM 360° GERADA PELO ESCÂNER



FONTE: Os autores, 2019

Sua operação não exige mão-de-obra especializada, bastando um simples treinamento prévio para sua utilização. Seu sistema operacional é o Android, apresentado na figura 8, gerando familiaridade para o operador, sabendo que este mesmo sistema é muito comum em diversos *SmartPhones*.

FIGURA 8 - TELA DE INÍCIO DO SISTEMA OPERACIONA DO ESCANER



FONTE: Os autores, 2019

A execução do escaneamento é familiar para os técnicos de topografia, já que o mesmo se assemelha a operação do teodolito.

Antes de iniciar o escaneamento é necessário ter um plano a ser seguido com alguns parâmetros bem estabelecidos, tais como:

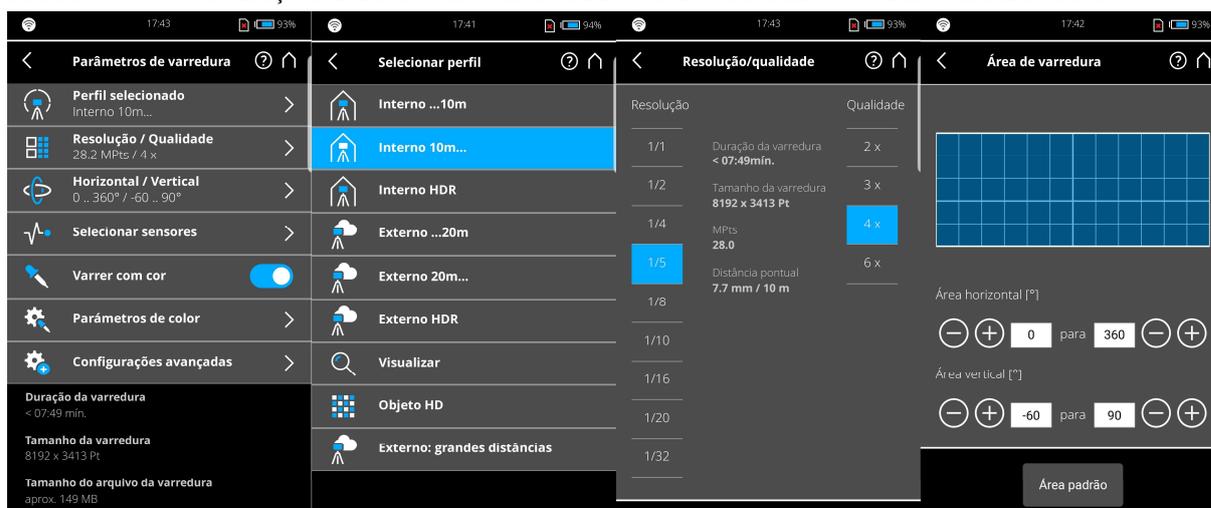
- Posição inicial do escâner na primeira cena (marco zero);
- Rota a ser seguida, com o intuito de evitar leituras no mesmo local;
- Ambiente de estudo;
- Nível de detalhamento do edifício a ser obtido;
- Disponibilidade de tempo de escaneamento;

É importante frisar que para gerar uma nuvem de pontos com poucas interferências, é necessário manter o campo de leitura do scanner fora de alcance de pessoas e objetos que se movimentam.

Adotou-se como marco zero para o escaneamento externo da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia a calçada de sua fachada frontal, seguindo para a passarela que serve de acesso ao prédio e posteriormente seguiu-se a uma rota no sentido horário em relação ao perímetro do edifício até finalmente chegar ao marco zero. Foi utilizado um distanciamento máximo entre as cenas de 10m, a fim de captar todos os elementos das fachadas, topografia e vegetação.

Para começar de fato a primeira etapa prática do trabalho, o processo de escaneamento, é necessário fixar o escâner em cima de um tripé e fornecer alguns parâmetros de projeto para o sistema operacional do aparelho, apresentada na figura 9. O primeiro parâmetro a ser fornecido é o tipo do ambiente a ser estudado, entre as opções fornecida pelo sistema, utilizou-se o perfil de ambientes externos maiores que 20m, uma vez que as fachadas e seus entornos foram escaneadas primeiramente. A segunda opção é a resolução e qualidade fornecida pelo escaneamento, levando em consideração o tempo disposto para realizar o levantamento de toda a edificação e do detalhamento necessário para obter uma nuvem de pontos com a qualidade necessária para uma modelação, optou-se pela resolução de 1/5, variando entre 1/1 e 1/32 e uma qualidade de 4x, variando entre 1x e 6x. Tendo como comparação um escaneamento com resolução de 1/1 e qualidade de 6x são parâmetros para ter-se uma nuvem de pontos com a maior densidade de pontos possível realizável com estes equipamento, porém existe a necessidade de um maior tempo de escaneamento, cerca de 12 minutos. A configuração de escaneamento utilizada resulta em uma duração de 7 minutos e 49 segundos por cena, gerando um total de 28 milhões de pontos por escaneamento. A área de varredura não foi alterada, pois o intuito foi captar não apenas as fachadas da biblioteca, mas todo o seu arredor.

FIGURA 9 - COMPILAÇÃO DE IMAGENS DAS TELAS DE PARÂMETROS DE VARREDURAS



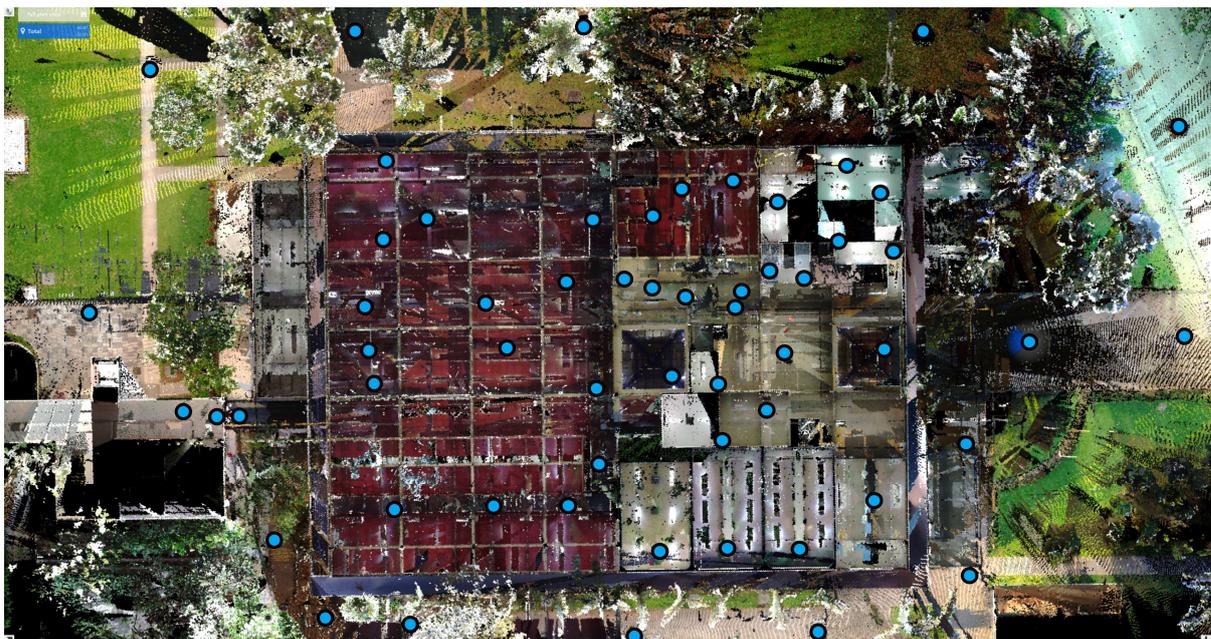
FONTE: Os autores, 2019

Após realizar os procedimentos descritos anteriormente pode-se realizar o escaneamento da área externa, gerando um total de 21 varreduras.

A partir do escaneamento do perímetro predial, podemos partir para o interior, modificando o parâmetro de perfil para ambientes internos maiores de 10 metros, assim atendendo as dimensões da obra.

O escaneamento interno gerou um total de 42 cenas, abrangendo a grande maioria dos ambientes presentes na biblioteca. No processo de escaneamento foi possível realizar um total de 63 pontos de escaneamentos, como demonstrado na figura 10, também é possível observar onde cada cena foi registrada, cada ponto azul demonstra um escaneamento.

FIGURA 10 - MAPA DOS LOCAIS ONDE FORAM REALIZADAS AS VARREDURAS



FONTE: Os Autores, 2019

#### 4.2 AEROFOTOGRAMETRIA COM AUXÍLIO DE VANT

A segunda etapa prática do trabalho, consiste em um levantamento aerofotogramétrico com auxílio de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado). Sua execução foi necessária, tendo em vista que não foi possível o acesso a cobertura da edificação em estudo, por questões de segurança. O modelo do drone utilizado foi o DJI Spark como mostrado na figura 11, com peso de decolagem igual a 300g, sendo caracterizado pela ANAC como pertencente à classe 3. Este possui uma altura máxima de serviço acima do nível do mar de 4000m, sua velocidade máxima atingida é igual a 50km/h e seu alcance máximo equivale a 2km em relação ao controlador. Com tempo de duração da bateria de 16 minutos à uma velocidade constante de 20km/h.

FIGURA 11 - DRONE DJI SPARK



FONTE: Amazon, 2019

Todo comando é dado através de um controle que utiliza um *SmartPhone* para configurações e definições durante o voo, necessitando o *download* do aplicativo DJI GO 4, como representado na figura 12.

FIGURA 12 - CONTROLE DO DRONE DJI SPARK



FONTE: Os Autores, 2019

O passo inicial foi traçar um plano de voo para que todos os movimentos do drone fossem predefinidos, como representado na figura 13. Tendo o mesmo sido executado, foi escolhida a posição para decolagem, esta foi determinada ao lado do prédio da biblioteca do Instituto Mauá de tecnologia onde tivesse menor número de árvores e transeuntes para que tudo ocorresse com a maior segurança e um maior controle da situação. Tendo em vista que o tempo de duração da bateria do equipamento utilizado é de 16 minutos, foi necessária a utilização de duas delas para que fosse possível contemplar a cobertura e as fachadas do edifício. O processo foi dividido em dois voos. O primeiro deles representado por “círculos azuis”, abrangeu o telhado da edificação, na sequência a bateria foi trocada e foi possível a execução do segundo voo contemplando as fachadas do objeto de estudo, representados por “triângulos azuis”.

FIGURA 13 - PLANO DE VOO



FONTE: Os Autores, 2019

A figura 14 representa uma fotografia da fachada frontal e da cobertura tirada pelo Veículo Aéreo não Tripulado. No total foram capturadas 78 imagens, sendo elas 47 referentes a cobertura e 31 referentes a fachada do prédio da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia.

FIGURA 14 - FACHADA FRONTAL E COBERTURA



FONTE: Os Autores, 2019

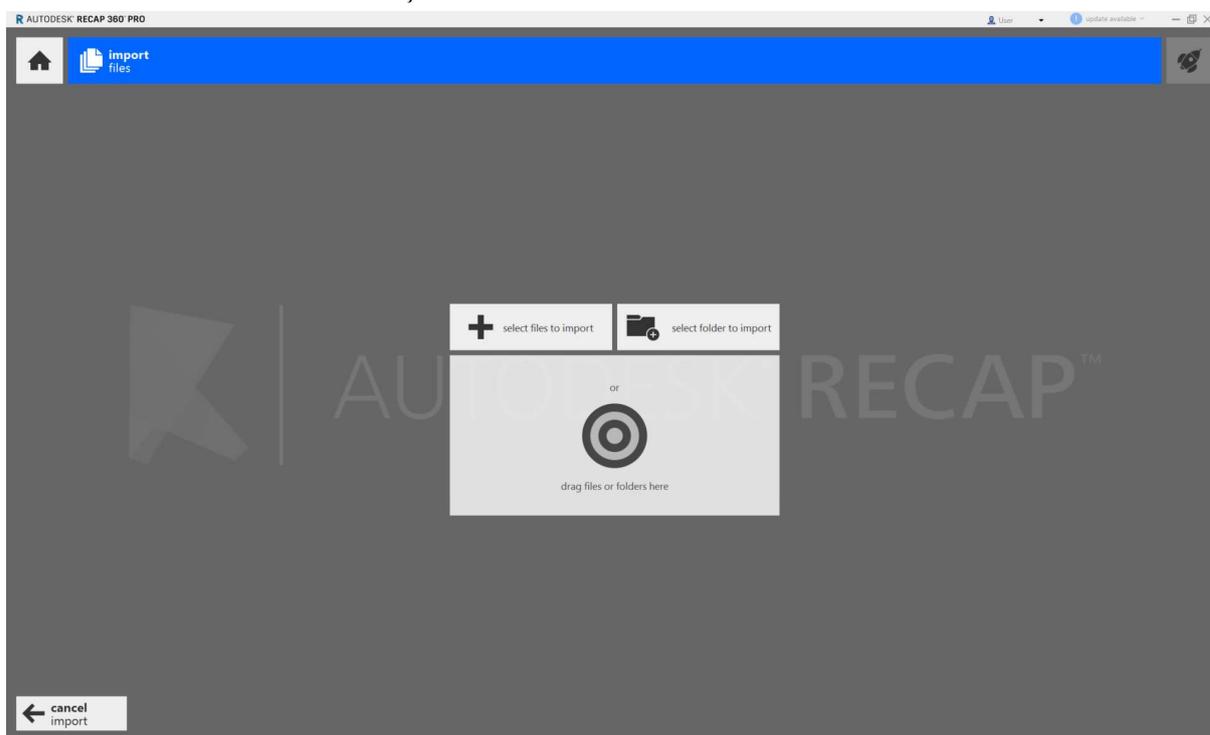
### 4.3 NUVEM DE PONTOS

Gerada pelo escaneamento a laser 3D e pela aerofotogrametria através de VANT, a nuvem de pontos é parametrizada em um sistema de coordenadas tridimensionais (X,Y e Z) e georreferenciadas. Este modelo proporciona inúmeros recursos para sua utilização, desde a obtenção de uma simples medida, até mesmo, controle de manifestações patológicas quando se refere a estruturas. Neste trabalho, esta tecnologia proporcionara o *As Built* utilizando como uma base para modelagem BIM.

A partir da coleta de dados realizadas in loco, através do escaneamento a laser, pode-se receber e manipular os arquivos gerados pelo escaneamento, prosseguindo para obtenção de uma nuvem de pontos a partir de pontos georreferenciados.

O *software* utilizado para fechamento da nuvem foi o Recap da Autodesk. A importação dos arquivos gerados pelo escâner se dá pelo os arquivos .fls que contém todos os dados de cada escaneamento, este processo pode ser observado na figura 15.

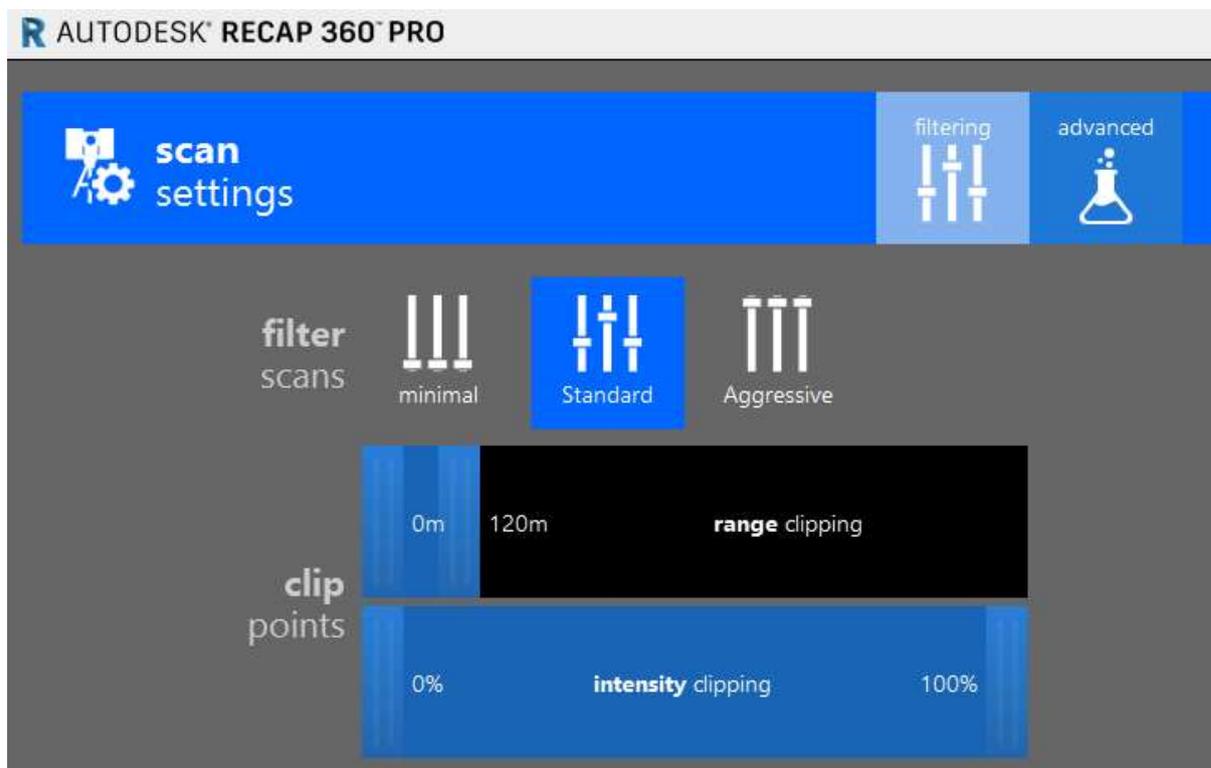
FIGURA 15 - TELA DE IMPORTAÇÃO DE VARREDURAS DO RECAP



FONTE: Autodesk (2018)

Levou-se duas horas para a importação das 63 de cenas, utilizando um computador com 16 *Gigabytes* de memória RAM e um processador Intel Core I7. Após a importação deve-se ajustar o parâmetro de *range clipping* onde se limita os pontos criados a distância indicada e o *intensity clipping* que limita a criação de pontos por  $\text{cm}^2$ . Os ajustes destes termos são apresentados na figura 16. Para o projeto em estudo, limitou-se o *range clipping* em 120 metros por limitações do equipamento utilizado. Já em relação ao *intensity clipping* não houve mudanças, manteve-se em 100% para que não perdesse informações do alvo escaneado.

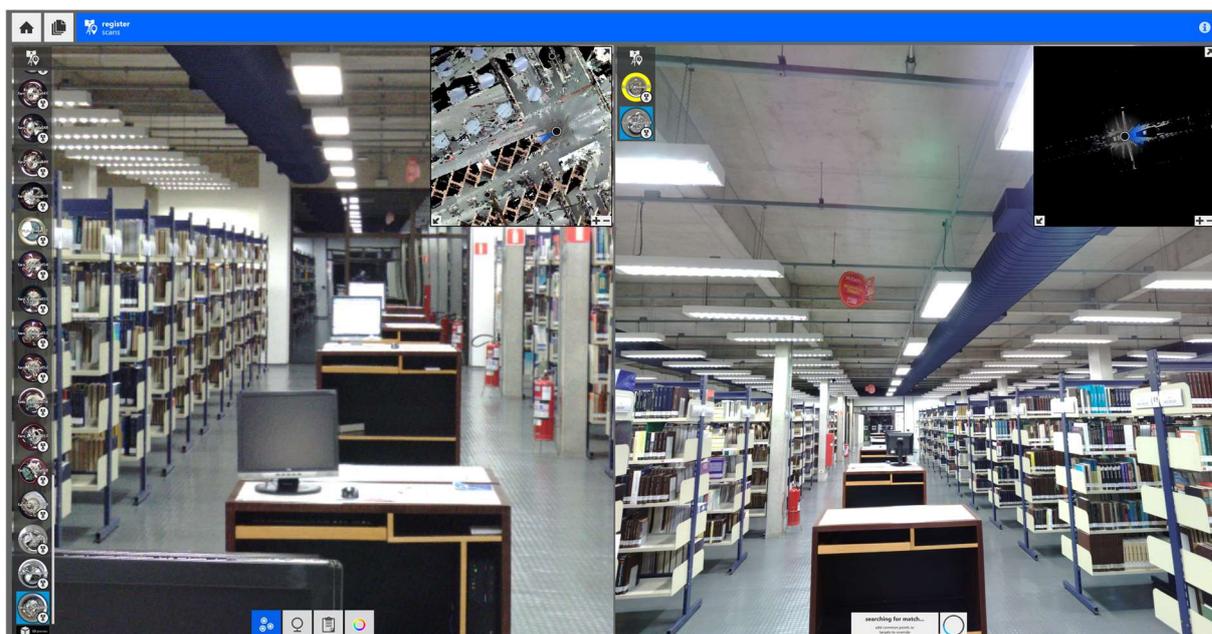
FIGURA 16 - AJUSTE DE PARÂMETROS DE ESCANEAMENTO DO RECAP



FONTE: Autodesk (2018)

Utilizando pontos em comum com cada escaneamento foi possível referenciar os escaneamentos em relação a outro, como apresentado na figura 17, tal processo é chamado de registro. Na imagem também é possível observar que a tela é dividida, todas as cenas apresentadas do lado esquerdo da tela são varreduras não registradas, já as do lado direito são varreduras devidamente registradas. Este processo é feito a partir da sobreposição de pontos iguais em dois escaneamentos inserindo alvos em objetos ou pontos de referência em comum. A partir destes alvos posicionados o software processa estes dois escaneamentos e os vincula, o processo é repetido até que não exista mais nenhum escaneamento não registrado.

FIGURA 17 - PROCESSO DE REGISTRO DE CENAS NO RECAP



FONTE: Os autores, 2019

O registro é de suma importância para a obtenção da nuvem de pontos, pois além de relacionar as cenas, posiciona-se a cena a ser registrada no local correto e excluem-se pontos duplicados.

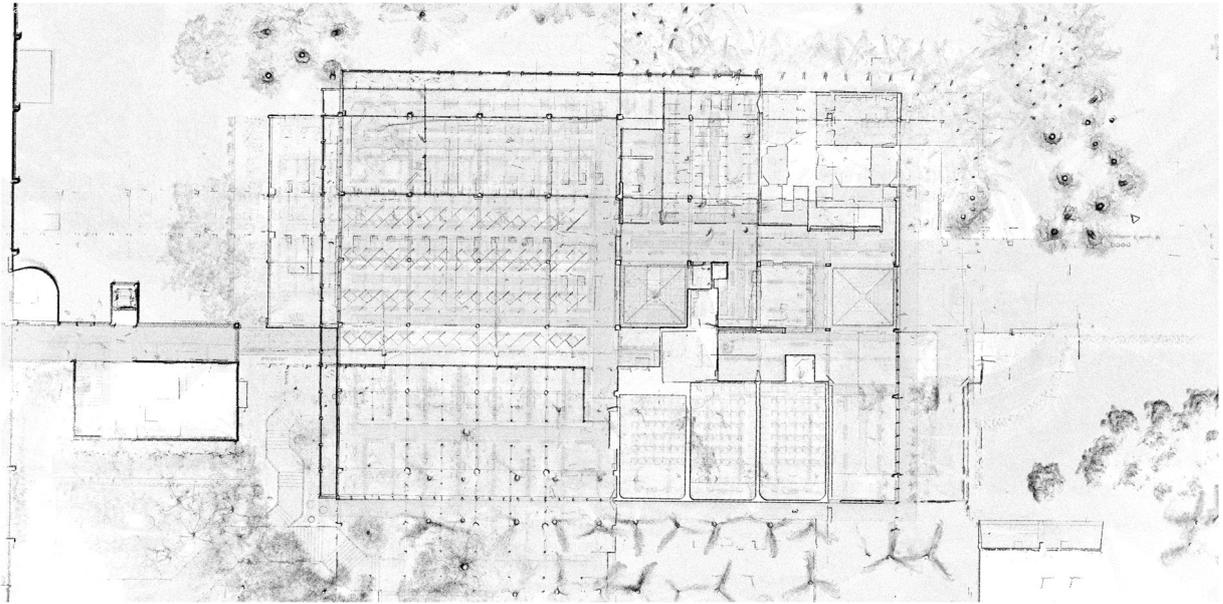
Depois de serem registradas as cenas são indexadas automaticamente pelo *software* e é gerada a nuvem de pontos no próprio programa, onde é possível, visualizá-la e editá-la

O Recap também é útil para excluir pontos obtidos por interferências criados por transeuntes, duplicações por espelhos e pontos não solicitados no projeto analisado.

Após a limpeza da nuvem, a quantidade de pontos caiu de 1,28 bilhão para 1,0 bilhão de pontos.

Além destas funções apresentadas, foi possível gerar um mapa de visualização plano, como demonstrado na figura 18.

FIGURA 18 - MAPA DE VISUALIZAÇÃO GERADO PELO SOFTWARE SCENE

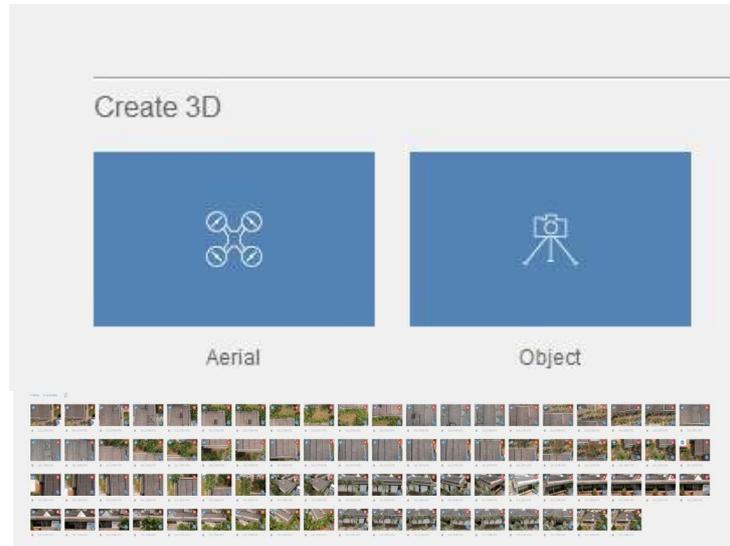


FONTE: Os autores, 2019

Tendo em vista que não foi possível contemplar a cobertura da edificação e algumas falhas foram detectadas na fachada por conta de interferência de vegetação no perímetro, foi executada a aerofotogrametria para geração de uma nuvem de pontos que servirá para completar a mesma gerada pelo escaneamento a laser 3D.

Após a captura das imagens com auxílio de drone, o processo decorreu pela criação de um projeto aéreo através do *software* Recap Photo. Com esta etapa concluída, foi possível a importação das fotografias. Como é possível observar na figura 19.

FIGURA 19 - COMPILAÇÃO DE IMAGENS ATRAVÉS DO RECAP PHOTO



FONTE: Os Autores, 2019

Finalizada a compilação e importação das imagens, foi possível iniciar uma nova etapa deste processo, esta consiste na seleção dos arquivos de saída. Sendo possível fazer a seleção de uma malha texturizada em 3D, nuvem de pontos e Ortofoto com mapa de elevação. Foi feita a seleção para geração dos três itens citados. A figura 20 representa a tela onde esta seleção é executada.

FIGURA 20 - SELEÇÃO DOS ARQUIVOS DE SAÍDA

FONTE: Os autores, 2019

Dado como concluído o passo anterior, o processo de registro e indexação das imagens é executado automaticamente através da nuvem da AutoDesk, este consiste em um processo de sobreposição de imagens. Podendo no final do processamento, ser realizado o *download* dos arquivos gerados. O processo teve duração de 51 minutos e 9 segundos, não importando o computador utilizado uma vez que o processo é feito em nuvem, resultando em um arquivo de 400 *Megabytes* a ser baixado.

A junção das nuvens de ponto geradas respectivamente pelo escaneamento a laser 3D e pela aerofotogrametria através de VANT baseia-se no mesmo processo de registro das cenas do escaneamento a laser no Recap Pro, onde são escolhidos pontos em comum entre, a nuvem de pontos da cobertura e as cenas do escaneamento a laser 3D.

#### 4.4 MODELO BIM

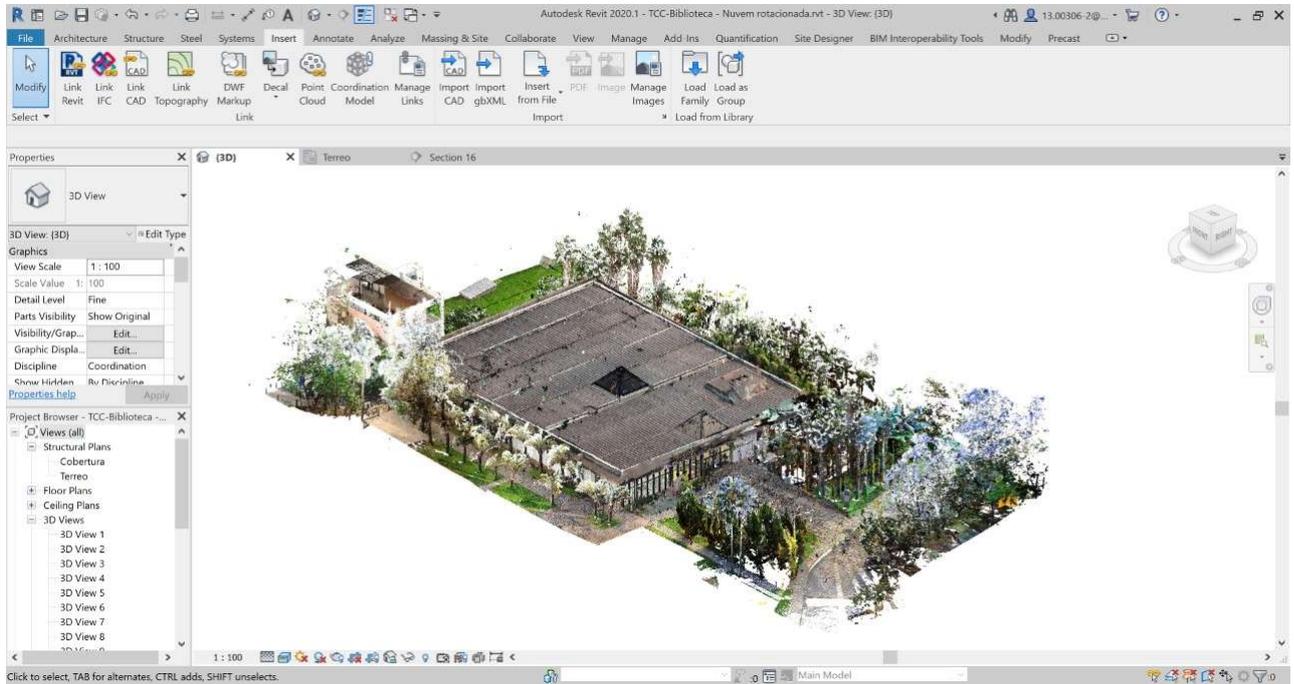
Neste projeto, o *software* Revit utiliza-se da tecnologia BIM para gerar sólidos a partir de pontos originários da nuvem, resultando em um modelo híbrido com objetos BIM e a nuvem de pontos.

Com o intuito de facilitar o processo de modelagem, neste projeto foi escolhido o Revit para inserção de objetos BIM a partir da nuvem de pontos processada, uma vez que a nuvem foi analisada e manipulada no ReCap Pro, gerando o arquivo *.rcp* compatível com o Revit.

A nuvem de pontos será utilizada como uma espécie de gabarito para a modelação BIM. A inserção da mesma é feita através do Revit, na aba *insert* no comando *point cloud*, onde é possível anexar arquivos *.rcp*. As figuras 21 e 22 representam respectivamente, os comandos para a inserção da nuvem de pontos e a mesma já inserida no *software*.

FIGURA 21 - ABA DE COMANDOS PARA INSERÇÃO DA NUVEM DE PONTOS

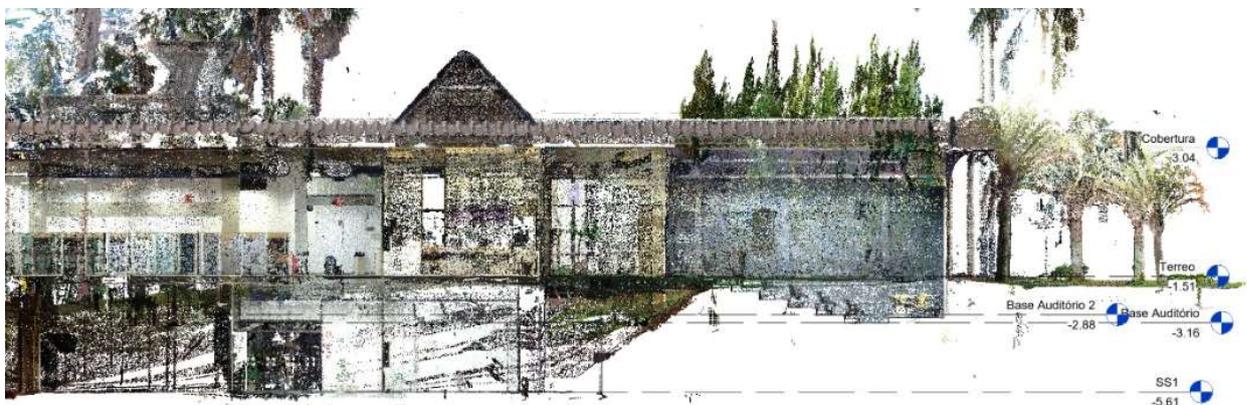
FIGURA 22 - NUVEM DE PONTOS INSERIDA NO REVIT



FONTE: Os Autores, 2019

Com a nuvem de pontos já inserida no ambiente do Revit, foi possível dar início a modelagem. O primeiro passo foi a criação de cortes, para que fosse possível o posicionamento dos níveis, os quais serviram de base para gerar as plantas de piso. Como lustrado na figura 23. Os alvos a direita, são os níveis.

FIGURA 23- CORTE E NIVEIS



FONTE: Os Autores, 2019

Tendo este passo executado, foi possível gerar a planta dos pavimentos que compõem a biblioteca do Instituto Mauá de tecnologia, como pode ser visualizado na figura 24.

FIGURA 24- PLANTA DO PAVIMENTO TÉRREO

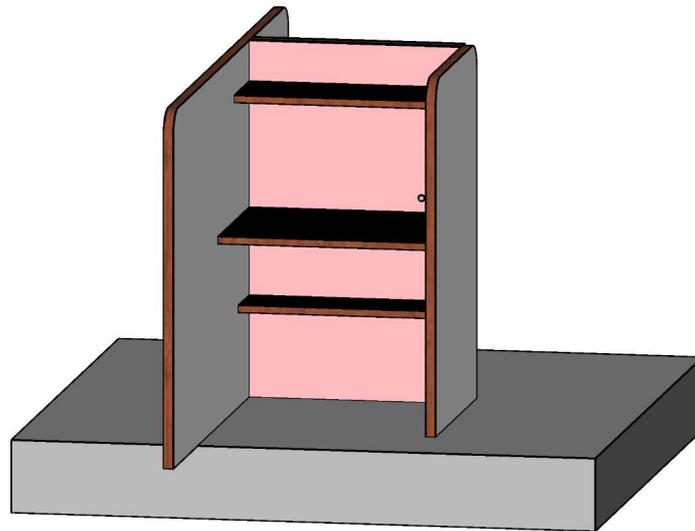


FONTE: Os Autores, 2019

Após a inserção dos níveis, pode-se dar início a modelagem, tomando como base a nuvem de pontos, que possibilita a extração de medidas reais da edificação em estudo e posicionamento exato dos elementos que a constituem.

Para a modelagem dos objetos, foi necessária a criação de famílias novas em sua maioria, pois a intenção era retratar com perfeição o que se tem no edifício da biblioteca. Alguns componentes não necessitaram ser criados, pois foi possível realizar o *download* nos sites *bimobject* e *RevitCity*. Segue o exemplo de uma família criada, representada na figura 25.

FIGURA 25- FAMÍLIA DE CABINES INDIVIDUAIS PARA ESTUDO



FONTE: Os Autores, 2019

#### 4.5 REALIDADE VIRTUAL (V.R.)

A utilização da realidade virtual para visualização da nuvem de pontos neste projeto foi realizada pelo software SCENE, cuja empresa desenvolvedora é a mesma fabricante do escâner a laser utilizado anteriormente. Já os *hardwares* utilizados para visualização foram o HTC VIVE da empresa VIVE e o Oculus Rift Dk2 da empresa Facebook estes podem ser vistos nas figuras 26 e 27.

FIGURA 26 - HTC VIVE



FONTE: Produtos VIVE (2019)

FIGURA 27 – OCULUS RIFT DK2



FONTE: Engadget (2019)

Para gerar um ambiente virtual no computador utilizando o HTC VIVE, deve-se primeiramente conectar o *headset* no computador através dos cabos HDMI e USB, ligar as torres de captura de movimento e os *joysticks*. Este *hardware* necessita de uma instalação de um *software* próprio denominado STEAM VR.

A instalação do Oculus Rift DK2 é similar ao *hardware* anterior, necessitando também da conexão através do HDMI e USB, porém utiliza-se mais uma porta USB para a conexão da câmera do dispositivo, não sendo necessário o uso das torres de captura de movimento. São utilizados dois *softwares* para a realizar a o reconhecimento do óculos pelo computador, sendo eles, um aplicativo próprio da Oculus, podendo ser realizado o download no *website* do produto e o segundo *software* sendo o STEAM VR, utilizado também pelo HTV VIVE. Este headset não possui *joysticks*, havendo a necessidade de configurar um para o controle da movimentação, foi utilizado o *joystick* da plataforma de jogos virtuais Xbox One da empresa Microsoft, visto na figura 28. Este *joystick* foi escolhido por apresentar compatibilidade com o sistema operacional Windows 10, assim utilizando apenas uma porta USB para conectá-lo e utilizá-lo.

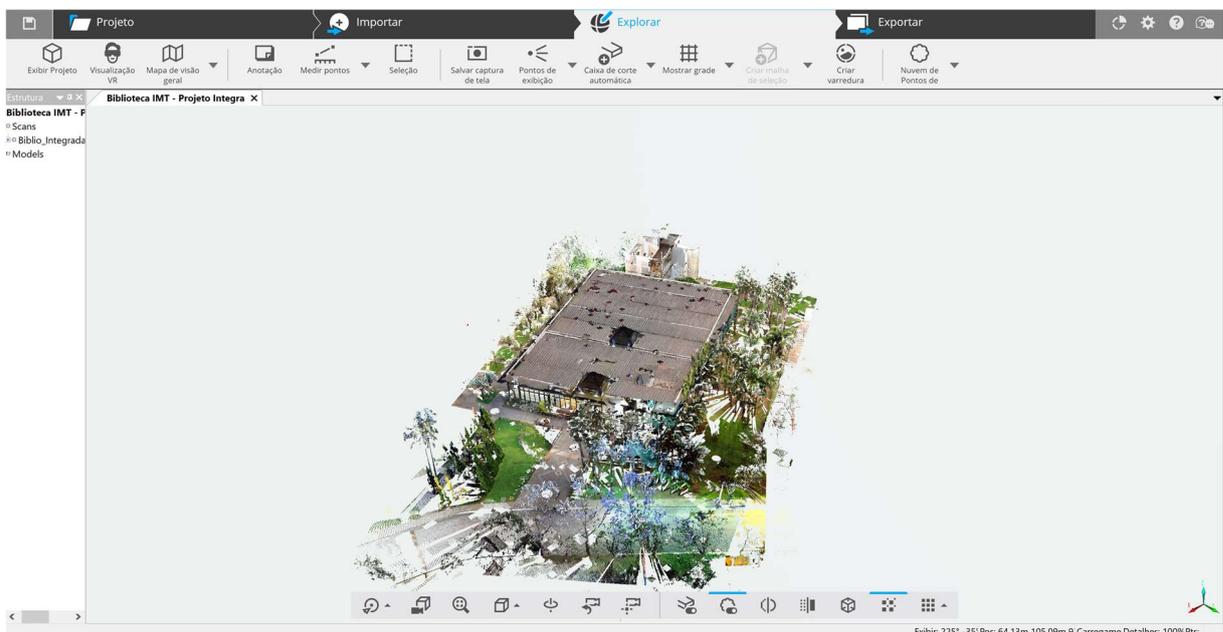
FIGURA 28 – XBOX ONE JOYSTICK



FONTE: Xbox (2019)

A nuvem foi exportada do Recap para o *software* SCENE através da extensão .e57 para assim ser possível utilizá-lo em realidade virtual. A visualização da nuvem de pontos é feita pelo comando “Visualização VR” na aba explorar do programa como é visto na figura 29. Após realizar estes procedimentos pode-se navegar por toda nuvem com auxílio dos *joysticks* e do *headset*.

FIGURA 29 – BARRA EXPLORAR DO SOFTWARE SCENE



FONTE: Os autores, 2019

Para visualização do modelo em realidade virtual, foi instalado um *plug in* no Revit chamado Kubity, na sequência foi exportado o modelo para o aplicativo Kubity GO. O óculos utilizado foi o Gear VR acoplado ao celular Samsung Galaxy S10. Como representado nas figuras 30 e 31.

FIGURA 30- SAMSUNG GEAR VR

FIGURA 31- SAMSUNG GEAR VR



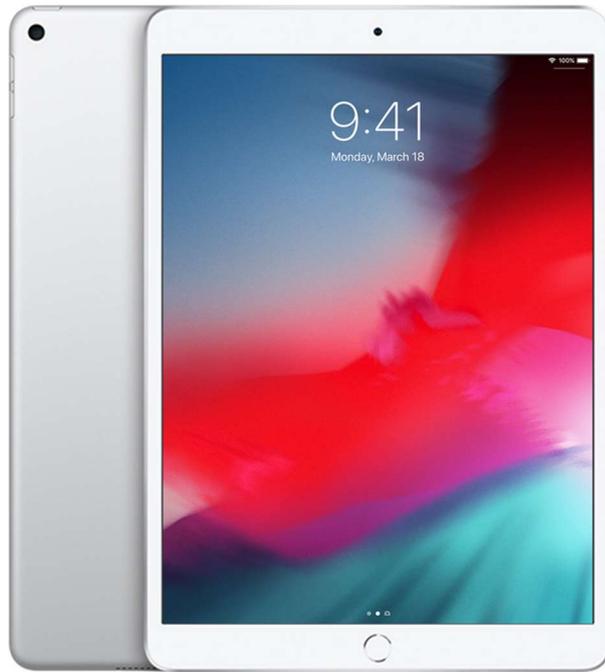
FONTE: Samsung, 2019

Para a visualização é necessário a instalação do aplicativo Kubity GO, através da Google Play Store para gerenciamento dos modelos do usuário e em seguida deve-se realizar o aplicativo Kubity VR+ através da Oculus Store, para a acesso a realidade virtual do modelo.

#### 4.6 REALIDADE AUMENTADA (R.A.)

Para a visualização em realidade aumentada, foi utilizado os mesmos passos da realidade virtual, com o aplicativo Kubity GO, porém sem a utilização dos óculos. Optou-se pela escolha do iPad ao invés do celular, por conta do maior tamanho da tela, observável na figura 32. Deve-se lembrar que o aplicativo está disponível para *download* em qualquer dispositivo Android ou iOS.

FIGURA 32 – APPLE IPAD AIR



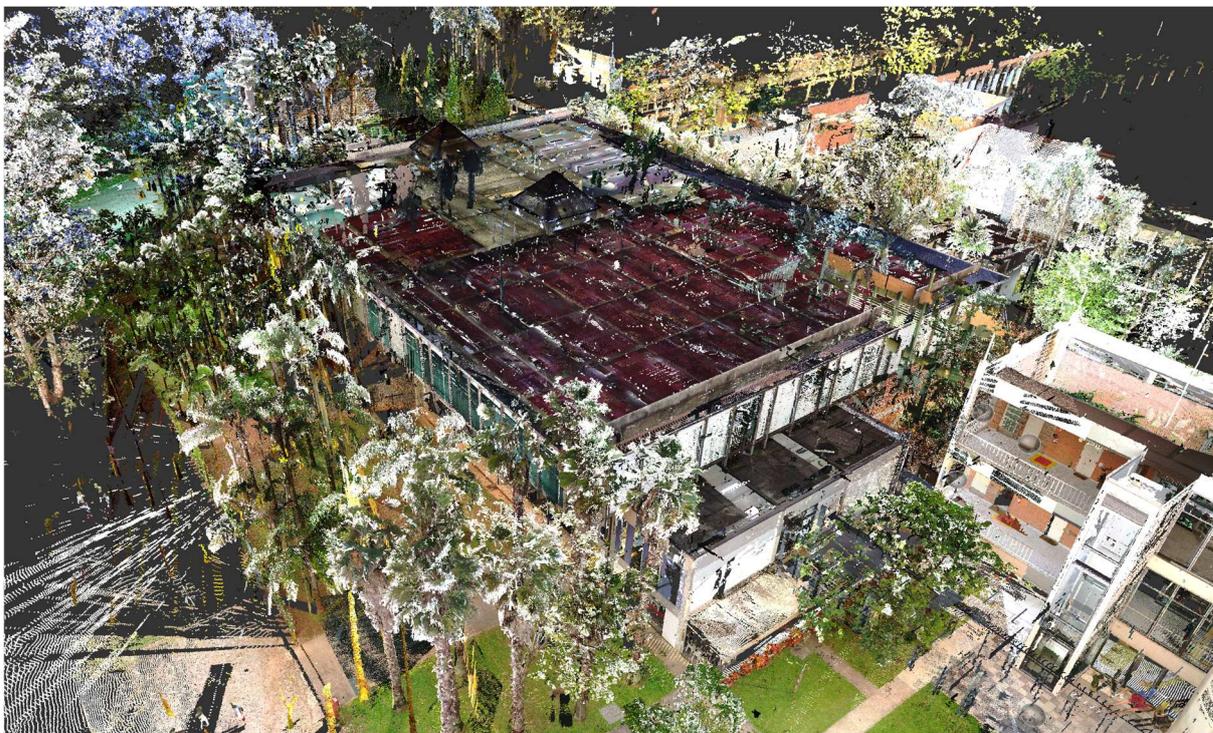
FONTE: Apple, 2019.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 NUVEM DE PONTOS

Obteve-se 5 nuvens de pontos ao longo do processo, sendo a primeira delas uma nuvem bruta, originária apenas do escaneamento a laser, sem qualquer tipo de tratamento ou exclusão de pontos duplicados. Esta nuvem de pontos criada através do Recap, gerou um arquivo com a extensão .rcp, com um total de 36,6 *Gigabytes* armazenando um total de 1,28 bilhões de pontos de nuvem bruta, vista na figura 33.

FIGURA 33 – VISTA ISOMÉTRICA DA NUVEM DE PONTOS BRUTA DA BIBLIOTECA



FONTE: Os autores, 2019

A nuvem de pontos posteriormente obtida foi através da limpeza manual de pontos duplicados por espelhos, interferências de pessoas ou regiões que não interessavam para a sequência do projeto. Após a limpeza da nuvem, a quantidade de pontos caiu para 1,0 bilhão de pontos, é possível analisar a mudança na figura 34.

FIGURA 34 – VISTA ISOMÉTRICA DA NUVEM DE PONTOS TRATADA DA BIBLIOTECA



FONTE: Os autores, 2019

A nuvem de pontos gerada pela aerofotogrametria constitui um total de 9,07 milhões de pontos. Tendo uma densidade de aproximadamente 586 pontos por metro quadrado de cobertura. Como é possível observar na figura 35.

FIGURA 35 - NUVEM DE PONTOS DA COBERTURA



FONTE: Os Autores, 2019

A partir da nuvem de pontos é possível gerar uma malha, que tem como processo formador a triangularização dos pontos que constituem a nuvem. A figura 36 ilustra a malha. Esta não possui importância significativa neste trabalho, mas é um item obrigatório a ser gerado pelo *software*, com grande relevância quando se trata de impressão 3D.

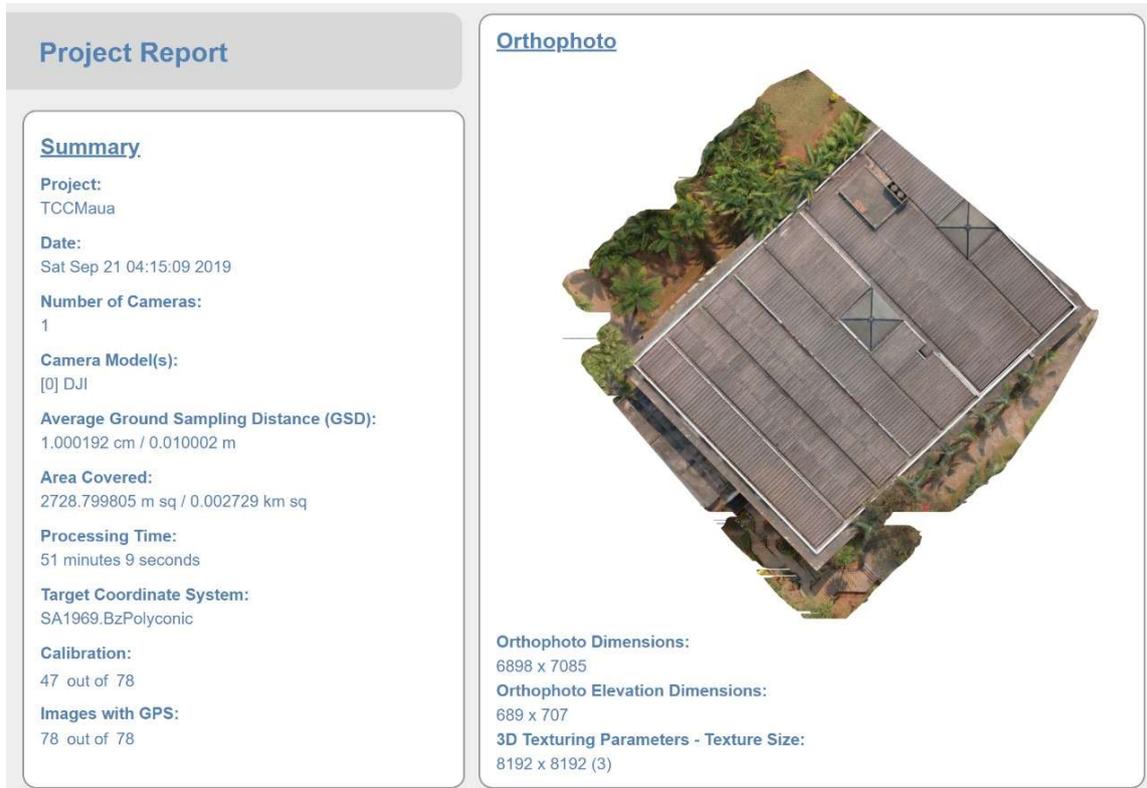
FIGURA 36 - MALHA GERADA PELO RECAP PHOTO



FONTE: Os autores, 2019

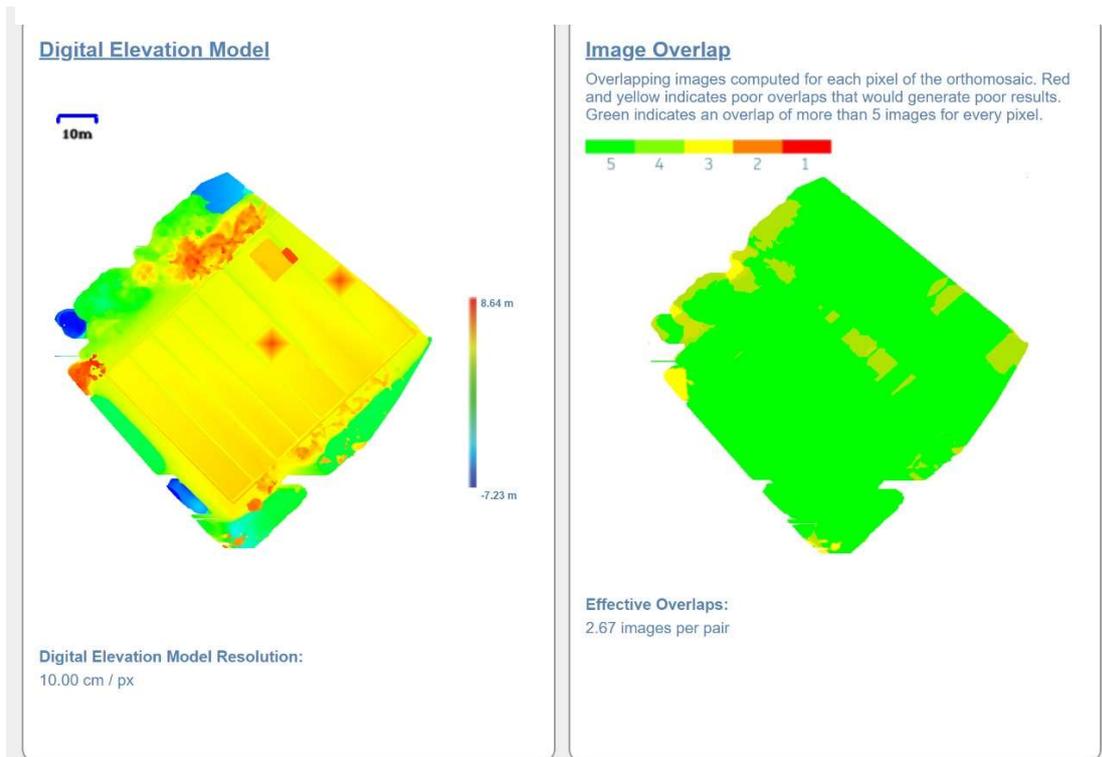
O Recap Photo disponibiliza um relatório que contém informações de quantidade de sobreposições de imagens, onde existe o maior número delas, além de um modo de elevação onde é possível verificar as diferentes alturas do objeto em estudo, a partir da escala de cores. Também consta de uma ortofoto, ou seja, uma foto ortogonal ao plano da edificação em análise e um resumo de algumas informações técnicas, como por exemplo, calibragem e informações de GPS. As figuras 37 e 38 apresentam estes itens.

FIGURA 37 - RELATÓRIO GERADO PELO RECAP PHOTO



FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 38 - RELATÓRIO GERADO PELO RECAP PHOTO



FONTE: Os Autores, 2019

A próxima nuvem de pontos gerada, foi a junção das nuvens do escaneamento a laser, já tratada, e a nuvem proveniente da aerofotogrametria, este processo foi realizado no Recap e originou uma nuvem de pontos de 1,01 bilhões de pontos e é possível ver esta junção na figura 39.

FIGURA 39 - NUVEM DE PONTOS UNIFICADA

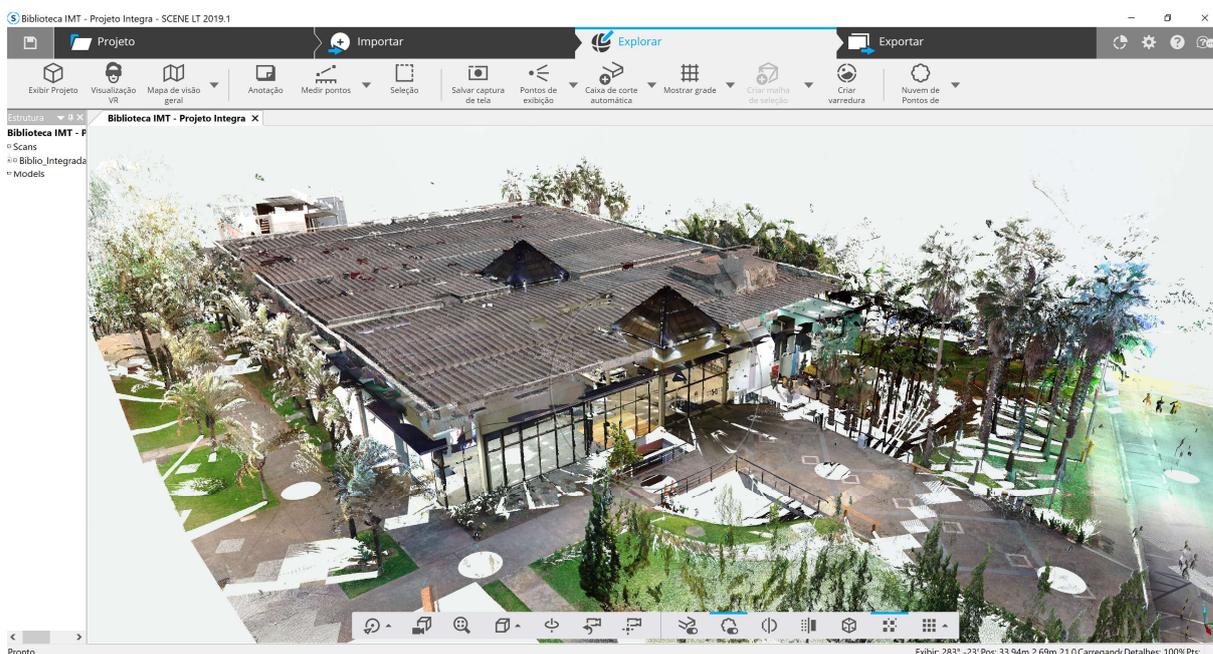


FONTE: Os Autores, 2019

Esta nuvem de pontos foi a utilizada para a modelação BIM, pois é a mais completa entre as anteriores e possui compatibilidade com o Revit.

A quinta e última nuvem de pontos obtida, é utilizada para a visualização em realidade virtual, o *software* SCENE é utilizado e este utiliza-se de um refinamento da limpeza da nuvem, realizando a exclusão de pontos em comum entre dois escaneamentos distintos, diminuindo ainda mais quantidade de pontos presentes na nuvem. Segundo o *software* utilizado esta nuvem de pontos tem um total de 681.601.746 pontos. A nuvem de pontos exportada para o SCENE pode ser observada na figura 40.

FIGURA 40 - NUVEM DE PONTOS UNIFICADA EXPORTADA PARA O SCENE



FONTE: Os Autores, 2019

## 5.2 MODELO BIM

A partir da nuvem de pontos modelou-se todo o prédio da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia e os componentes em seu interior utilizando o *software* Revit 2020. Foram posicionados 3230 itens ao total, entre eles estão elementos estruturais, dutos de ar condicionado e principalmente elementos arquitetônicos, resultando em um arquivo com 108 *Megabytes* a sequência de figuras (41 até 46) apresentam o nível de detalhe em que foi atingido comparando a nuvem de pontos com um modelo híbrido (nuvem de pontos e modelo 3D) e apenas o modelo 3D. A figura 41 apresenta a fachada posterior e lateral, tendo como principal elemento a ser observado a modelação da vegetação e locação da estrutura aparente e a criação dos componentes de quebra sol. A fachada frontal é apresentada na figura 42, tendo como principais elementos modelados e posicionado a claraboia na cobertura e as janelas e portas de vidros. A figura 43 apresenta a recepção do edifício e pode-se visualizar os dutos de ventilação modelados, o balcão da recepção e os pilares e as vigas locadas nos locais condizentes com a realidade. A sala Eng<sup>o</sup>. Victor Carlos Fillinger é apresentada na figura 44, onde pode-se observar os pilares cilíndricos, os componentes elétricos de iluminação e as mesas redondas como elementos principais. A figura 45 apresenta o acervo de livros da biblioteca na qual é visível os elementos estruturais como vigas, pilares e a face inferior da laje superior, também

são componentes importantes nessa imagem as estantes e os equipamentos de proteção contra incêndios. A sala Prof. Dr. Luiz Occhini é apresentada na figura 46, onde pode-se observar as divisórias de cada ambiente e as janelas ambas criadas exclusivamente para o uso neste modelo BIM.

FIGURA 41- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 42- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 43- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



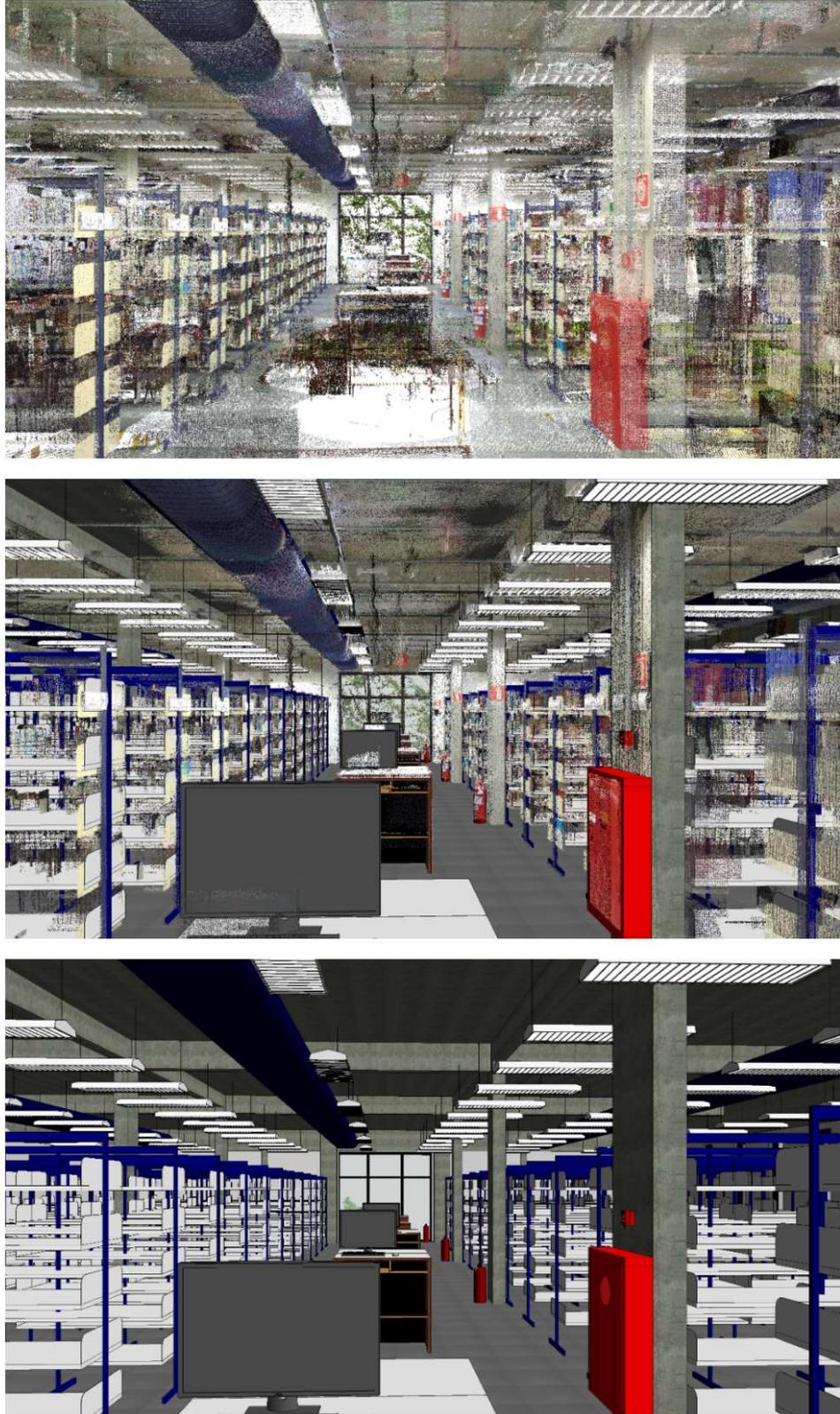
FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 44- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



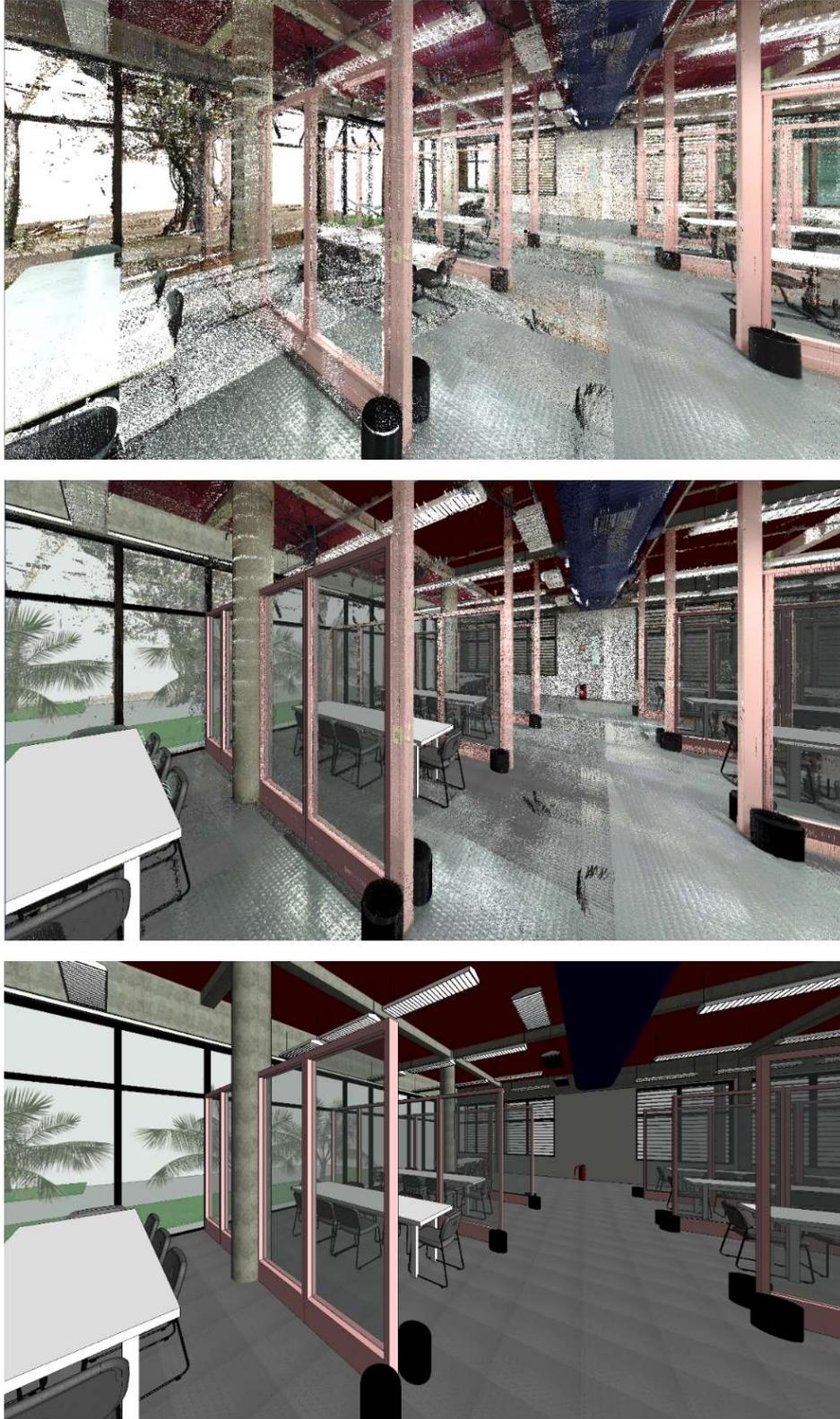
FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 45- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 46- COMPARAÇÃO ENTRE NUVEM DE PONTOS E MODELO HÍBRIDO



FONTE: Os Autores, 2019

Embora a grande maioria dos componentes visíveis na nuvem de pontos estejam modelados e inseridos no modelo, os elementos não contemplados pela nuvem de pontos, tais como sistemas hidráulicos e elétricos não foram modelados. O modelo final pode ser visualizado na figura 47.

FIGURA 47- MODELO FINAL



FONTE: Os Autores, 2019

Nas escalas de LOD (nível de desenvolvimento) existentes, este modelo atingiu um LOD 300 em termos de modelagem e documentação, sendo eles, classificados como:

- LOD 100: Equivale a representação gráfica quase sem detalhes ou informações além da forma da construção, detalhes do terreno e outras informações preliminares.
- LOD 200: Equivale à etapa de anteprojeto, quando ainda se está planejando em termos mais gerais o tamanho, forma, volume e preço, ainda requer aprovação para ser executado.
- LOD 300: Na etapa do LOD 300, já temos o anteprojeto aprovado, então começa-se a fazer o detalhamento dos projetos executivos, estruturais, arquitetônicos, memórias de cálculo, maquetes e do orçamento, ao fim faz-se a compatibilização de todas essas etapas para garantir que não há erros.

- LOD 400: Em um LOD 400 já estamos trabalhando com planejamento, cronograma físico-financeiro, documentação legal, tudo necessário para a execução.
- LOD 500: Corresponde à etapa do modelo como foi construído, quando todos os custos, fornecedores e especificações para cada material já devem estar inseridos no projeto.

Graficamente, o LOD vai aumentando conforme vamos acrescentando mais detalhes e avançando a cada etapa do projeto.

Ao analisar o LOD do modelo e levarmos em consideração apenas a definição de LOD (*level of development*) em si e excluindo a documentação necessária, pode-se afirmar que a modelação corresponde a um LOD 500 .

### 5.3 REALIDADE VIRTUAL (VR)

A visualização da nuvem de pontos em realidade virtual foi realizada com sucesso utilizando o HTC VIVE e o Oculus Rift Dk2, através do SCENE. Esta tecnologia possibilita navegar pela nuvem de pontos. A figura 48 ilustra como é a nuvem de pontos através da realidade virtual.

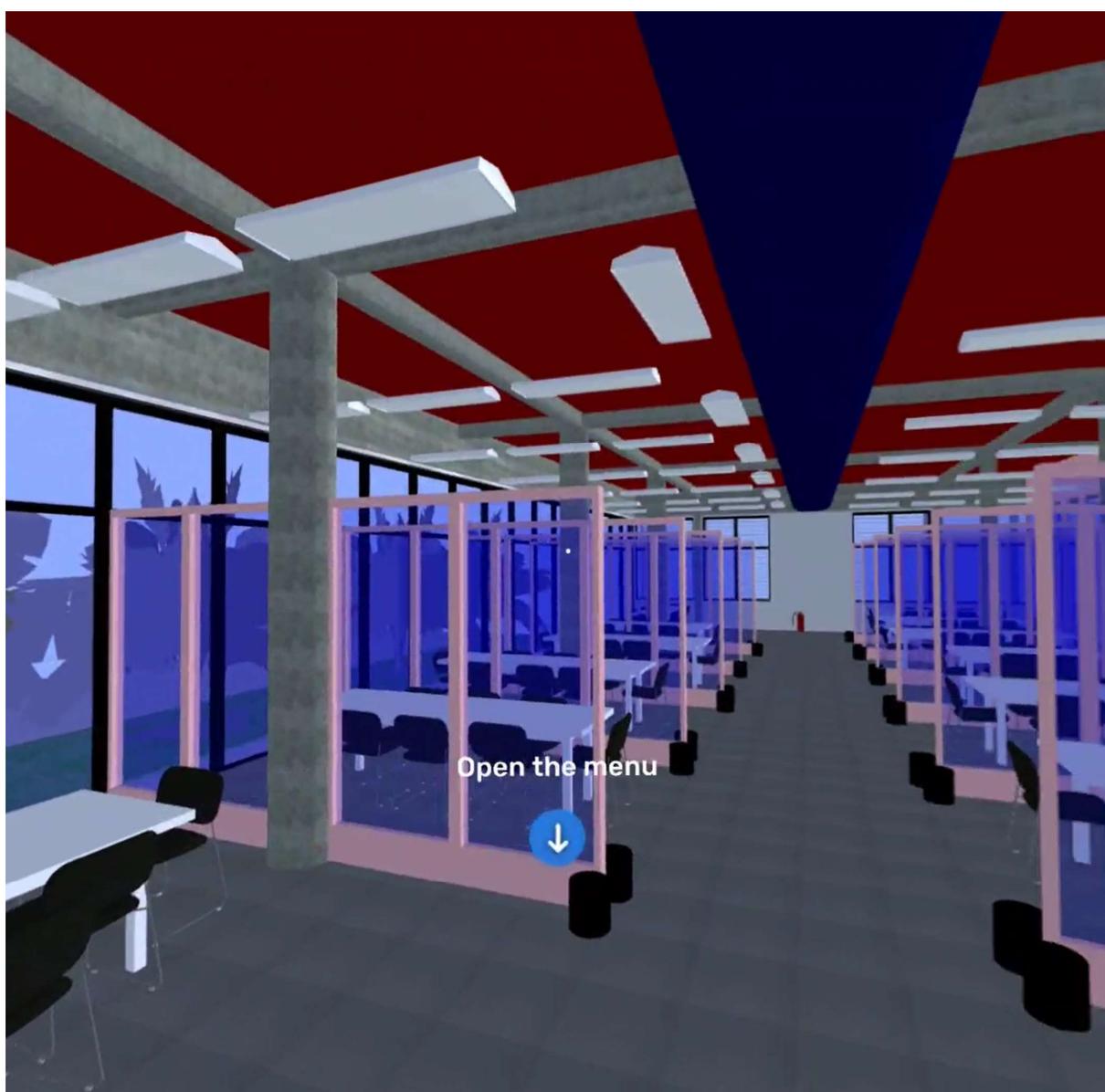
FIGURA 48 - VISUALIZAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS ATRAVÉS DA REALIDADE VIRTUAL



FONTE: Os Autores, 2019

A realização do modelo BIM também teve êxito utilizado o Gear VR, através do aplicativo Kubity VR+, visível na figura 49.

FIGURA 49 - VISUALIZAÇÃO DO MODELO BIM ATRAVÉS DA REALIDADE VIRTUAL



FONTE: Os Autores, 2019

#### 5.4 REALIDADE AUMENTADA (AR)

Utilizando o aplicativo Kubity GO, realizou-se a visualização do modelo em realidade aumentada, utilizando um iPad. Nota-se a mistura do real com o virtual, característica marcante desta tecnologia, através do uso da tela e da câmera do *tablet*, mostrado nas figuras 50 e 51.

FIGURA 50 - VISUALIZAÇÃO DO MODELO EM REALIDADE AUMENTADA



FONTE: Os Autores, 2019

FIGURA 51 - VISUALIZAÇÃO DO MODELO EM REALIDADE AUMENTADA



FONTE: Os Autores, 2019

## 6 CONCLUSÃO

Tendo em vista que a inserção das tecnologias citadas neste trabalho, representam um grande avanço no que diz respeito a otimização e aperfeiçoamento dos processos da construção civil. A utilização do escaneamento a laser 3D e aerofotogrametria para gerar uma nuvem de pontos *As Built*, já é uma realidade no mercado brasileiro. Por possuir inúmeras aplicações, estas tecnologias tendem a se tornar cada vez mais frequentes.

Embora o escaneamento da biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia, tenha sido realizado com sucesso e precisão, alguns pontos devem ser mencionados. As salas administrativas e os banheiros do subsolo estavam fechados, logo não foi possível escanear todos os ambientes internos. Ao gerar a nuvem de pontos através do escaneamento a laser 3D, percebeu-se duplicações de pontos gerados pelos espelhos e superfícies refletivas como os vidros com películas espelhadas utilizados nas fachadas do prédio. Para solucionar este problema, foi executada a limpeza manual no Recap de pontos refletidos.

Com relação a cobertura do edifício, a última faixa de calhas que o compõe não foi registrada completamente, devido a alguma falha técnica na realização da aerofotogrametria com auxílio de VANT. Este problema foi contornado com a utilização dos elementos semelhantes que foram capitados com clareza neste processo. Sendo possível a repetição e o posicionamento no lugar dos que foram detectados as irregularidades durante a modelagem.

Ao comparar o resultado do escaneamento a laser com o resultado da aerofotogrametria, nota-se que o primeiro é muito mais preciso que o segundo, pois além de ser mais cara e com tempo de duração de levantamento superior, o laser *scan* utiliza-se de uma fonte estacionária, diferente da aerofotogrametria, a qual se caracteriza pela mobilidade. Por esses motivos a nuvem de pontos gerada pelo escaneamento possui uma quantidade mais elevada de pontos por m<sup>3</sup>, ou seja, uma nuvem mais densa.

Com base nos diversos levantamentos executados pelo grupo e os resultados de modelagem no Revit, foi possível concluir que, quando nos referimos a levantamento de fachadas de um edifício com poucos pavimentos, como o objeto em estudo, a biblioteca do Instituto Mauá de tecnologia, o escaneamento a laser obteve um ganho muito mais satisfatório do que o levantamento aerofotogramétrico. Tendo em vista que o primeiro facilitou muito mais a

modelagem, com sua clareza e quantidade superior de pontos na nuvem. Deve-se salientar que ambas as tecnologias sofreram com problemas de interferência da vegetação perimétrica, copas das árvores, situadas ao redor da biblioteca. Outro motivo para não utilização dos resultados do levantamento aerofotogramétrico de fachadas foi o não reconhecimento pelo *software* Recap Photo da sobreposição das imagens ortogonais.

Em se tratando dos levantamentos executados na cobertura, a escolha da utilização de um Veículo Aéreo não Tripulado representou facilidade no processo prático, já que o acesso ao telhado para o desenvolvimento dos levantamentos com auxílio do *laser scan* proporcionaria maiores dificuldades além de ser caracterizada como uma atividade perigosa. Sem contar com o fato de que o nível de detalhamento do telhado da edificação era suficientemente compatível com a capacidade do drone.

Quanto à parte interna do objeto de estudo, optou-se acertadamente pela utilização do laser escâner, pois a quantidade de detalhes desta área do edifício necessitava de um instrumento que fosse capaz de executar levantamentos mais demorados, com um maior nível de detalhamento e estacionário. Outro fator que não pode ser desconsiderado, é em relação ao tempo de duração da bateria do drone, sendo inexpressiva em relação a do FARO FOCUS<sup>s</sup> 150. Tornando assim inviável a contemplação de toda a parte interna do objeto de estudo, em apenas um dia de trabalho. Deve-se lembrar também, que a utilização da aerofotogrametria em áreas internas é inexecutável, pois a posição da câmera na parte inferior do VANT não permite o alcance dos ambientes por completo.

Referindo-se escala LOD, o projeto BIM realizado atingiu o índice 300 em termos de modelos e documentação, mas podendo ser atribuído um LOD 500 ao analisarmos apenas pela modelação. Deve-se lembrar que para o *As built* ser atingido, ou seja, o modelo conter todas as informações sobre como foi construído, é necessário atingir o LOD 500. Tendo em vista estas informações, conclui-se que é necessária a inclusão de diversas informações complementares, sejam elas, modelação MEP (*Mechanical, Eletrical and Plumbing*), drenagem, instalações complementares, informações sobre a construção da obra, preços dos elementos estruturais e arquitetônicos, entre outros. Um modelo com estas informações pode ser considerado um *As built*.

Obtendo o índice 300 na escala LOD, deve-se concluir que foi possível o de realizar um modelo *As Built* parcial do edifício da biblioteca da instituição, uma vez que para atingir *As Built* completo, seria necessário um estudo muito mais complexo e aprofundado sobre o edifício para a extração das informações necessárias.

A utilização das novas tecnologias de imersão virtual, como a realidade virtual e a realidade aumentada, embora estejam em desenvolvimento, já demonstram destaque no mercado quando trata-se da apresentação do produto. Torna-se mais interessante apresentar um produto ao cliente ao fazê-lo imergir virtualmente dentro do produto.

Pode-se concluir que a realidade virtual, quando voltada a engenharia civil, é muito útil as construtoras e incorporadoras ou até mesmo a instituições que desejam divulgar seus modelos virtuais de seus projetos ou instalações já construídas, imergindo o cliente em suas edificações, chegando o mais próximo possível da realidade e possibilitando um tour virtual. A realidade virtual também possibilita ao usuário, além da visualização, visitas técnicas guiadas.

Além dos aspectos positivos da realidade virtual, deve-se levar em conta que para fazer o uso da mesma, é necessário a aquisição de computadores com placas de vídeo e processadores potentes. tornando-a uma tecnologia pouco acessível para grande parcela da população.

A realidade aumentada, por sua vez, é uma ferramenta mais prática de utilização, pois necessitando apenas de um *smartphone* ou *tablet* com câmera para utilizá-la, torna-se mais próximo a população. Essa, por sua vez possui grande importância na substituição de maquetes e plantas, pois é possível realizar a visualização externa e interna do edifício em escala reduzida e até mesmo em escala real do edifício com todos os seus sistemas prediais, podendo isolar cada uma das disciplinas presentes no modelo.

A inserção da tecnologia no ciclo de vida de um edifício, deve ser feita, pois além de ser útil para futuras manutenções, é utilizada como base de dados para futuras gerações e propicia para o proprietário uma melhor gestão de seus empreendimentos.

## 7 Sugestões para novos trabalhos

- *As Built* do edifício da biblioteca Eng. Álvaro de Souza Lima do Instituto Mauá de Tecnologia;
- Escaneamento a laser para análises patológicas estruturais;
- Escaneamento a laser para manutenção de edifícios históricos;
- Modelagem BIM do campus do Instituto Mauá de Tecnologia;
- Associação do modelo BIM ao sensoriamento IoT (*Internet of Things*) para realização do campus inteligente.

## REFERÊNCIAS

ACHILLE, Cristiana et al. **UAV-based photogrammetry and integrated technologies for architectural applications— Methodological strategies for the after-quake survey of vertical structures** in Mantua (Italy). *Sensors*, v. 15, n. 7, p. 15520-15539, 2015.

AMAZON, 2019. **DJI Spark Remote Control Combo (White)**. Disponível em: <https://www.amazon.com/DJI-Spark-Remote-Control-Combo/dp/B075TDRS2M>. Acesso em: 08 de outubro de 2019.

ANAC, 2017. **Classes de Drones**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/classes-de-drones>. Acesso em: 07 de outubro de 2019.

ANAC, 2019. **Drones**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>. Acesso em: 07 de outubro de 2019.

ANDRADE, Henrique José Lins Ferreira. **Varredura a laser aplicada na reconstrução 3D de bens materiais do patrimônio histórico de Igarassu e Olinda**. Programa de pós-graduação em ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

AUTODESK, 2018. **Modelagem Museu Imperial com nuvem de pontos: Desafios e Aprendizagens**. Disponível em: <https://blogs.autodesk.com/mundoaec/modelagem-museu-imperial-de-petropolis-com-nuvem-de-pontos-desafios-e-aprendizados/>. Acesso em: 2 de junho de 2019.

AUTODESK, 2018. **Autodesk Knowledge Network**. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Reality-Capture/files/GUID-B8E16791-7D05-4909-896B-B3CD67BE7C80-htm.html>. Acesso em: 4 de junho de 2019.

AUTODESK, 2019. **ReCap Pro**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/recap/features>. Acesso em: 3 de março de 2019.

AUTODESK, 2019. **Revit**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/features>. Acesso em: 3 de março de 2019.

BASTIAN, Andrea Verri. **Uma discussão sobre técnicas baseadas em imagens para levantamento de edificações**. Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 21., Florianópolis, 2013.

BAYRAM, B. et al. **Comparison of laser scanning and photogrammetry and their use for digital recording of cultural monument**. Case study: Byzantine land walls-Istanbul. In: International Archiv. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. Taipei, Taiwan, Vol. II-5/W3, p.17-24, 2015.

BLOG DA MAUA, 2013. **Curiosidades sobre a nossa Biblioteca**. Disponível em: <http://blog.maua.br/2013/09/curiosidades-sobre-a-nossa-biblioteca/>. Acesso em: 4 de junho de 2019.

BIOCCA, F.; Levy, M. R. **Communication in the Age of Virtual Reality**. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, NJ, 1995.

Bimobject, 2019. **Bimobject**. Disponível em: <https://www.bimobject.com/pt-br>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPPS J.: **Padrões de classificação de equipamentos laser utilizados em levantamentos terrestres e aéreos**. COBRAC 2002, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis, 6 de Outubro 2002.

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. W.: **Laseres nos Levantamentos Terrestres**. Revista InfoGeo, Ano 4, No. 22, Fev. 2002, p. 52-55.

CATELANI, W. S. **Coletânea Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras**. 1. ed. Brasília: Gadioli Branding e comunicação, 2016. 5v.

CALVACANTE, R. B. L.: **A utilização do 3D Laser Scanning para levantamento de fachadas do Centro Histórico de Porto Nacional – TO**. Revista Interface, Edição nº 09, junho de 2015, p. 88-94.

CHIABRANDO, F.; DONADIO, E.; RINAUDO, F. **SfM for orthophoto to generation: A winning approach for cultural heritage knowledge**. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 40, n. 5, p. 91, 2015.

CREA-AL. **BIM no Brasil: Conheça mais sobre a nova tecnologia**. Disponível em: <http://www.crea-al.org.br/2017/04/o-bim-no-brasil/>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

CRESPO, C.C.; RUSCHEL, R.C. Integração de Sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção. In: Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil, III, 2007, Porto Alegre. **Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto**. Campinas: UNICAMP, 2007. P 1-3.

DE PAOLI, B. L.; TRINDADE, C. A. **Boas práticas do uso da técnica de Structure from Motion**. (Douglas Francisco M. Gherardi; Luiz Eduardo O. e Cruz Aragão, Ed.) In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa. Anais... João Pessoa: 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1423.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

DEZEN-KEMPTER, E.; PAIVA, P. V. V.; COGIMA, C. K.; CARVALHO, M. A. G. **Protocolo de aquisição de imagens de VANTs para modelagem 3d de fachadas de edifícios históricos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais[...] Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/242>

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A.V. **Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, jul./dez. 2015.

DIOCESE PORTO NACIONAL. **História da Diocese de Porto Nacional**. Disponível em: <http://dioceseportonacional.org.br/historia-da-diocese-de-porto-nacional/>. Acesso em: 3 de junho de 2019.

Engadget, 2014. **Oculus Rift: From \$2.4 million Kickstarter to \$2 billion sale**. Disponível em: <https://www.engadget.com/2014/03/28/oculus-rift-from-2-4-million-kickstarter-to-2-billion-sale/>. Acesso em: 4 de novembro de 2019.

FARO, 2019. **FARO FOCUS**. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-br/produtos/construction-bim-cim/faro-focus/>. Acesso em: 5 de março de 2019.

FARO, 2019. **FARO SCENE**. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-br/produtos/product-design/faro-scene/features/>. Acesso em: 1 de março de 2019.

FERNANDES, G.A. **Realidade Aumentada Aplicada a Atividades de Inspeção e Manutenção em Engenharia Civil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

GAZZIRO, Mário.A. **Aleijadinho 3D: tecnologia na difusão e preservação do patrimônio cultural**. Rio Grande do Sul, Pelotas: 7º SIMP: Convenção do Patrimônio Imaterial, 2013.

GONÇALES, Rodrigo. **Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GROETELAARS, N.J.; AMORIM, A. L. Tecnologia 3D Laser Scanning. In: Congresso Sigradi, XV, 2011, Santa Fé. **Características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos**. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2011. P. 1-5.

GUIA DAS ARTES. Museu Histórico e Cultural de Porto Nacional. Disponível em: <https://www.guiadasartes.com.br/tocantins/porto-nacional/museus/museu-historico-e-cultural-de-porto-nacional>. Acesso em: 3 de junho de 2019.

INBEC. **Infraero entra na "Era BIM" com seu primeiro Aeroporto Digital e soluções Bentley**. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/infraero-entra-era-bim-com-seu-primeiro-aeroporto-digital-solucoes-bentley>. Acesso em 18 de maio de 2019.

KINER, Claudio; TORI, Romero. **Realidade Virtual Conceitos e Tendências**. São Paulo Sp, 2004.

LEICA. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com>. Acesso em 10/05/2019.

LEINWOLL, S.: **Understanding Lasers and Masers**. Tradução Daniel Santano e Leon. MADRI 1969. Pág. 33.

LENGYEL, B. A.: **Introduciton to Laser Physics**. 1967.

MATEUS, L. M. C. **Contributos para o projeto de conservação, restauro e reabilitação. Uma metodologia documental baseada na Fotogrametria Digital e no Varrimento Laser 3D Terrestres - Volume 1**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2012. 339 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

MENEZES, Gilda Lucia Batista de. **Breve Hisórico de implementação da plataforma BIM**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Natal, v.18, n22, 21º sem. 2011.

Microsoft, 2019. **Controle Sem Fio Xbox – Preto**. Disponível em: <https://www.xbox.com/pt-br/xbox-one/accessories/controllers/xbox-black-wireless-controller>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

MURTIYOSO, A. et al. **Acquisition and processing experiences of close-range UAV images for the 3D modeling of heritage buildings**. In: Euro-Mediterranean Conference. Springer, Cham, 2016. p. 420-431.

OLIVEIRA, M. M. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória**. Brasília, DF: IPHAN / Programa Monumenta, 2008. 144 p. (Cadernos Técnicos; 7).

PASCOAL JÚNIOR, J.; MECATE, E.V.T.; SANTOS, E.T.; CORRÊA, F.R. **influência dos parâmetros de aquisição de imagens com auxílio de drone para geração de nuvem de pontos de obras civis**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais[...]. Porto Alegre: ANTAC,2019. Disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic2019/paper/view/205>. Acesso em: 07 de outubro de 2019.

PREFEITURA DE PALMAS. **O Guia Turístico Palmas e Cidades do Lago**, Ano 2014. Ed. Fotolaser. Palmas, 2010.

Revitcity, 2019. **RevitCity**. Disponível em: <https://www.revitcity.com/index.php>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

ROMANOWISKI, Joana Paulin; ENS, Romilda Teodora. **As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação**. In *Diálogo Educacional*. Curitiba, v.6, n. 19, p. 37-50, set./dez., 2006.

ROSSO, S. M. Especial - **BIM: quem é quem**. *AU - Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, v. 208, p. 61-64, jul. 2011.

RUBIO, A; SILVA, K.U. **Tecnologia BIM no Brasil; Dificuldades e Soluções em Grandes Empreendimentos**. São Caetano: Instituto Maua de Tecnologia, 2017.

SANSUNG, 2019. **GALAXY S10**. Disponível em: <https://www.samsung.com/us/mobile/phones/galaxy-s/galaxy-s10-128gb-unlocked-sm-g973uzwaxaa/>. Acesso em: 31 de outubro de 2019.

SANSUNG, 2019. **GEAR VR**. Disponível em: <https://www.samsung.com/br/wearables/gear-vr/>. Acesso em: 31 de outubro de 2019.

TANG, P. et al. **Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques**. *Automation in construction*, v. 19, n. 7, p. 829–843, 2010.

TRIMBLE. Disponível em: <http://www.trimble.com>. Acesso em: 10/01/2006.

VAN, NEDERVEEN, G.A. & TOLMAN, F., 1992, "**Modelling Multiple Views on Buildings**," *Automation in Construction*, December, Volume 1, Number 3, pp 215-224.

VIVE, 2019. **HTC VIVE**. Disponível em: <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>. Acesso em: 6 de março de 2019.