

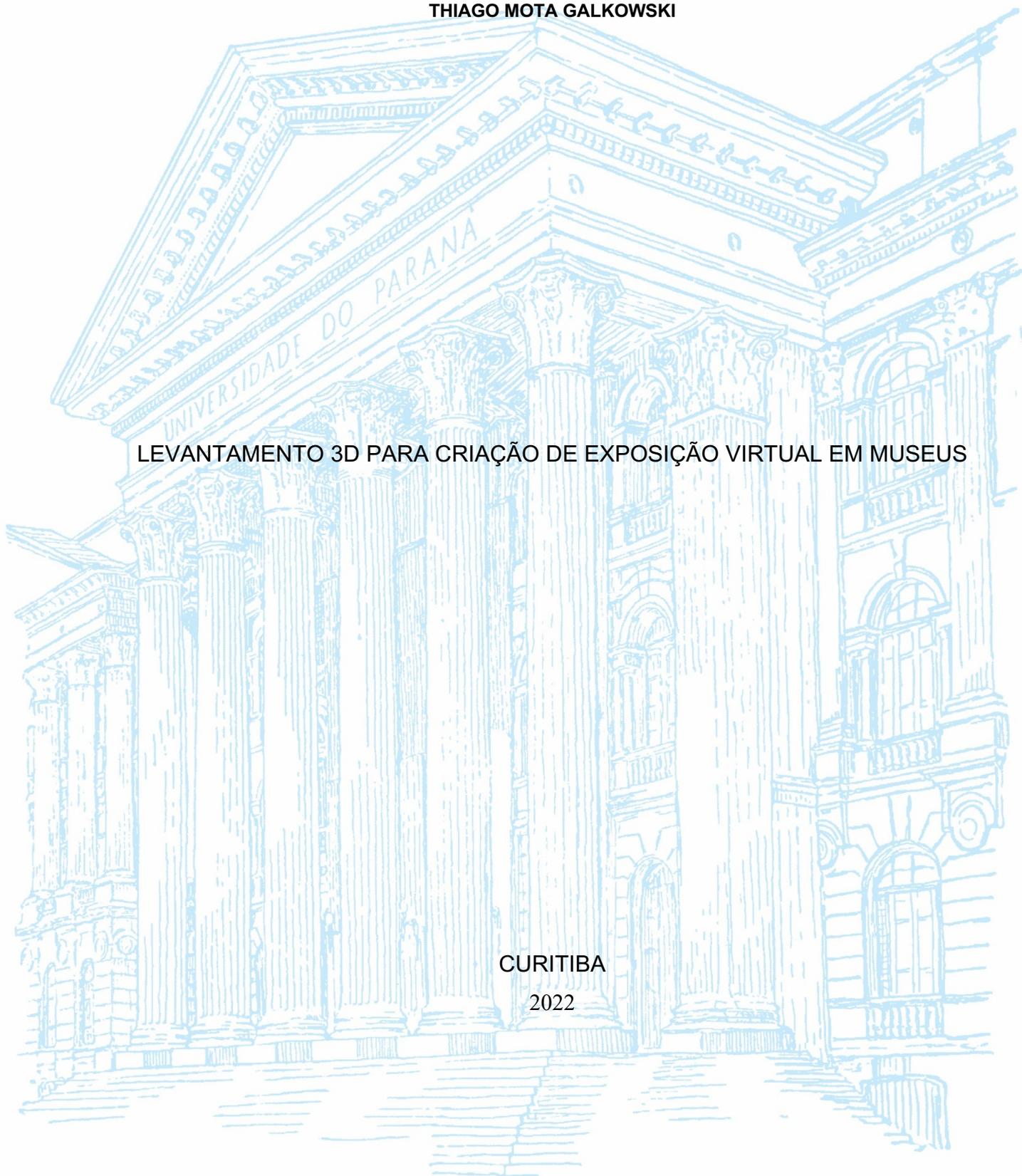
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO MOTA GALKOWSKI

LEVANTAMENTO 3D PARA CRIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO VIRTUAL EM MUSEUS

CURITIBA

2022



THIAGO MOTA GALKOWSKI

LEVANTAMENTO 3D PARA CRIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO VIRTUAL EM MUSEUS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a) Cartógrafo(a) e Agrimensor(a).

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga
Prof. Dr. Alex Soria Medina

CURITIBA

2022



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

THIAGO MOTA GALKOWSKI

LEVANTAMENTO 3D PARA CRIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO VIRTUAL EM MUSEU

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADO como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Prof Dr. Luís Augusto Koenig Veiga
Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Prof Dr. Wander da Cruz
Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Msc. Alan Salomão
Departamento de Engenharia Cartográfica, UERJ

Curitiba, 19 de setembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus orientadores Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e Prof. Dr. Alex Soria Medina e ao Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor Samir De Souza Oliveira Alves, pela amizade e acompanhamento durante este semestre, acreditando no desenvolvimento e potencial do trabalho, ajudando e apoiando.

Agradeço em especial a minha família que sempre esteve presente em cada momento da minha vida, quero agradecer em especial a minha esposa Grazielle Cristina dos Santos Galkowski e a minha filha Sophia Gabriele dos Santos Galkowski, agradeço pela força e pela paciência, passamos muito problemas e dificuldades para que hoje em possa apresentar meu trabalho final de conclusão de curso.

Ao MAE (Museu Arqueologia e Etnologia) da diretora Laura Perez Gil, e ao MusA (Museu de Arte), coordenadora Lúcia Helena Alencastro e da museóloga Lidiane do Nascimento Silva, que disponibilizaram o espaço de estudo para a realização do presente trabalho. O meu muito obrigado.

Agradecemos também a Leica Geosystems, na pessoa do Engenheiro Cartógrafo Miguel Menegusto, pelo empréstimo da licença do programa Leica Cyclone.

RESUMO

A realidade virtual tem sido uma tecnologia muito empregada nesta era da informação. Suas aplicações vão desde jogos, operações industriais e até passeios turísticos ou exposições virtuais em Museus. Os modelos em realidade virtual podem ser imaginários ou modelos representativos da realidade. Neste último caso, faz-se necessária uma captura de realidade e modelagem foto-realística e/ou paramétrica dos ambientes representados. Neste trabalho é apresentado um estudo metodológico empregando de tecnologias de levantamento tridimensional para a coleta em campo de imagens panorâmicas e modelagem de uma exposição museológica, de forma a permitir a criação de uma navegação virtual em dispositivos mobile e computadores pessoais. Utilizou-se como metodologia para a aquisição de dados espaciais, múltiplas ocupações de pontos onde foi instalado um tripé para sustentar um sistema integrado de captura de realidade, baseado em um *laser scanner* terrestre de curto alcance e uma câmera HDR interna. Com o objetivo de proporcionar a visualização de ambientes internos e externos, foi construída uma plataforma de navegação virtual, que possibilita a imersão em realidade virtual ou não, trazendo para o usuário a experiência de explorar um novo modelo de exposição da arte. Como resultados deste trabalho é apresentada a composição de cenas para a navegação virtual interativa pelos acervos e arquiteturas do Museu Arqueologia e Etnologia (MAE), e do Museu de Arte (MusA).

Palavras-chave: *Laser Scanner* Terrestre, Navegação Virtual, Captura de Realidade, Realidade Virtual, Museus Virtuais.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO MUSEU MUSA	12
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO MUSEU MAE	13
FIGURA 3 - MUSEU MAE	15
FIGURA 4 - MUSEU MAE ENTRADA PRINCIPAL	16
FIGURA 5 - INTERIOR DO MUSEU MAE	17
FIGURA 6 - MUSEU MUSA	18
FIGURA 7- CAMPO DE VARREDURA PANORÂMICA DO BLK360	20
FIGURA 8 - SALA DE EXPOSIÇÃO.	23
FIGURA 9 - SALA DE EXPOSIÇÃO, POSICIONAMENTO DO LST BLK360.....	23
FIGURA 10 - POSICIONAMENTO DO LST BLK360 NA JANELA.	24
FIGURA 11 - LOCAL ESCOLHIDO PARA O POSICIONAMENTO DO LST BLK360.....	25
FIGURA 12 - LST BLK360 NO PÁTIO INTERNO.....	25
FIGURA 13 - MUSEU MUSA MAE PONTOS DE LOCALIZACAO LASER	26
FIGURA 14 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE VARREDURA LASER	27
FIGURA 15 - BLK360 MUSEU MUSA VARREDURA DOS PONTOS	28
FIGURA 16 - BLK360 POSIÇÃO PARA VARREDURA	51
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS LASER SCANNER	52
FIGURA 21 - NUVEM DE PONTOS, IMAGENS CONCATENADAS DA LINHAS DE LIGAÇÃO (MAE)	52
FIGURA 22 - TELA DE CAPTURA LAPENTOR	53
FIGURA 23 - EXEMPLO DE IMAGEM PANORÂMICA OBTIDA COM O BLK360, PATIO MUSEU MAE.....	54
FIGURA 24 - EXPORTACAO PANORAMICA DAS IMAGENS.....	55
FIGURA 25 - INFORMACAO HOTSPOTS	56
FIGURA 26 - EXEMPLO DE NAVEGAÇÃO COM O LAPENTOR	56
FIGURA 27 - NUVEM DE PONTOS (MAE)	57
FIGURA 28 - NAVEGAÇÃO MAE.....	58
FIGURA 29 - NAVEGAÇÃO MUSA	59
FIGURA 30 - IMAGENS DO PROCESSO DE NAVEGAÇÃO MUSEU MAE.....	60
FIGURA 31 - IMAGENS DO PROCESSO DE NAVEGAÇÃO MUSEU MUSA	60

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

COC - Coordenadoria de Cultura

GEENG - Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia

HDR - *High Dynamic Range*

IEC - *International Electrotechnical Commission*

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

LiDAR - *Light Detection and Ranging*

MAE - Museu Arqueologia e Etnologia

MASP - Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand

MusA – Museu de Arte

PROEC - Pró-reitora de Extensão e Cultura

SfM – Structure from Motion

LST – Laser Scanner Terrestre

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 JUSTIFICATIVA	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivos específicos.....	10
2.1 ÁREAS DE ESTUDO	14
2.2 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	18
2.2.1 <i>Laser Scanner</i> Terrestre BLK360	19
2.2.2 Processamento do levantamento laser terrestre.....	20
2.2.3 <i>Softwares</i> e aplicativos utilizados.....	21
Para a realização do suporte a aquisição dos dados e processamento das observações coletadas foram utilizados os seguintes softwares:	21
2.3 MÉTODOS	21
2.3.1 Realização da varredura laser no MAE	21
2.3.2 Realização da varredura laser no MusA.	28
2.3.3 Processamento da nuvem de pontos	51
2.3.4 Processo de registro empregando-se programa <i>Leica Cyclone Register</i> 360 52	
2.3.5 Navegação virtual.....	53
3 RESULTADOS.....	57
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5 REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

Através das tecnologias hoje existentes é possível a visualização virtual de ambientes de forma tridimensional. Diversas tecnologias têm sido utilizadas para coletar ou mapear estes ambientes. Notadamente hoje se destaca o uso de sistemas de varredura a Laser para promover a captura de realidade tridimensional, empregando-se um *laser scanner* terrestre (LST) ou técnicas fotogramétricas a curtas distâncias (MIKHAIL et al., 2001).

Quanto ao emprego dos sensores lasers nos levantamentos geodésicos, desde os anos 1970 eles começaram a substituir as lâmpadas de tungstênio ou vapor de mercúrio, que eram usadas nos primeiros tipos de instrumentos eletrônicos de medição de distância, denominados telurômetros (PETRIE; TOTH, 2018; FIALOVSKY, 2013). Inicialmente, esses instrumentos eletrônicos de medição de distância baseados em laser eram usados principalmente como dispositivos para medir as distâncias necessárias para levantamentos de apoio ou para a implantação de redes geodésicas usando métodos de trilateração (PETRIE; TOTH, 2018). Poucas décadas atrás, com o desenvolvimento de sistemas lasers de varredura, pequenos em tamanho, porém robustos em densidade de observações coletadas, as medições de distância tornaram-se possíveis com o emprego de sistemas de telômetros ou de perfilamento a laser. Isso culminou no desenvolvimento dos atuais tipos de *scanners* e perfiladores a laser terrestres, que estão sendo amplamente utilizados para aplicações topográficas, seja ocupando pontos em posições estacionárias, quando montados em tripés, ou em modo móvel quando montados em plataformas veiculares ou usados como dispositivos manuais de *scanners* portáteis (PETRIE; TOTH, 2018).

Atualmente, as evoluções tecnológicas em medição remota vêm permitindo a obtenção, de densas nuvens de pontos tridimensionais como um dos produtos primários dos sistemas de escaneamento a laser. Estes milhares de pontos são capturados por sistema estático (DALMOLIN; SANTOS, 2004), posicionado sobre um tripé e, posteriormente, usados na representação digital do objeto mapeado. Mediante a seleção de métodos e instrumentos adequados para realizar essa aquisição, o engenheiro é capaz de solucionar problemas aplicados, se baseando em dados primários mais confiáveis, a fim de reconstruir a realidade para lidar com demandas na arquitetura, arqueologia, nas geociências, bem como nos diversos ramos da engenharia.

Neste trabalho, são apresentadas metodologias para elaboração um sistema on-line de navegação virtual, com base em dados tridimensionais da nuvem de pontos do LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e das imagens panorâmicas da câmera HDR (*High Dynamic Range*) embutida no sistema visando a representação do interior da edificação, com o objetivo de criar uma exposição virtual interativa e informativa do MAE (Museu Arqueologia e Etnologia) e do MusA (Museu de Arte), ambos da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

1.1 JUSTIFICATIVA

Museus em todo o mundo tem buscado disponibilizar visitas às galerias e principais obras de arte de forma on-line. Em 2020 tivemos a pandemia, muitas pessoas ficaram impossibilitadas de sair de casa, com cancelamentos de voos e fechamento de fronteiras, deixando assim para depois alguns sonhos de viagem. Museus como do Louvre, em Paris, o Museu Metropolitan, em Nova York, e o Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand (MASP), em São Paulo disponibilizam tour virtuais de seus espaços, fazendo com que assim, mesmo sem sair de casa, as pessoas possam passear (visitar) por seus corredores. A possibilidade da visita virtual a galeria de artes, foi uma maneira de não se isolar completamente do mundo e ainda se manter conectado com a cultura e a arte. Outro ponto que merece destaque é a possibilidade de maior inclusão das camadas menos favorecidas da sociedade, que muitas vezes não tem condições de acesso, seja por custo ou distância, e com o recurso da exposição virtual podem ter acesso a esta forma de cultura.

Diversas técnicas de levantamentos terrestres permitem gerar um banco de dados bastante detalhados, contendo as informações espaciais sobre localização, forma, cores, texturas entre outros atributos relacionados às peças dos Museus. Segundo Siqueira (2017), a nuvem de pontos é a materialização do escaneamento e serve de base para constituir um banco de dados georreferenciado com todas as informações do objeto escaneado. O emprego da Fotogrametria a curta distância, é utilizada na documentação, preservação e restauração de edificações históricas, que recorre a métodos rápidos de captura detalhada e acurada de informações das fachadas e dos detalhes da edificação (MIKHAIL et al., 2001). Ambos os insumos servem de documentação voltada para o planejamento e a preservação patrimonial.

Foi nesse contexto pensou-se em criar um museu virtual para que outras pessoas possam visitar e ter o contato com a arte e cultura exposta na UFPR. Assim

para este trabalho foi cedido e aberta as portas do MAE (Museu Arqueologia e Etnologia), e a do MusA (Museu de Arte) para que pudéssemos realizara captura de dados e criar a visitação virtual, semelhante ao que já feito em museus pelo mundo, colaborando com a divulgação dos Museus da UFPR.

A Engenharia Cartográfica e de Agrimensura é capaz de contribuir com projetos de documentação e de visitas autoguiadas em edificações do patrimônio histórico artístico e cultural. A combinação entre a Fotogrametria, os Levantamentos Geodésicos e a Cartografia Multimídia viabilizam a geração de produtos foto-realísticos, e modelos interativos que auxiliam tanto no cadastro de bens patrimoniais, bem como no apoio a ações de restauro e promoções das visitas aos acervos (LERMA; PÉREZ, 2006). Essas ações não são benéficas apenas para as curadorias dos museus, mas também para a promoção do turismo de cunho cultural. A aquisição, gravação e manipulação de dados virtuais 2D e 3D tecnicamente acessíveis, torna-se amplamente difundida mesmo com computadores pessoais padrão (PORTALÉS et al., 2009).

O Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor apresenta em sua formação competências em modelagem 3D, implantação e monitoramento de estruturas geodésicas, captura de dados baseados em imagens, calibração de instrumentos e armazenamento de dados geoespaciais, buscando facilitar a integração com outras áreas do conhecimento.

1.2 OBJETIVOS

Realizar a aquisição de dados espaciais tridimensionais fazendo o uso do sistema *Laser Scanner* Terrestre (LST) para coleta da nuvem de pontos e geração das imagens panorâmicas renderizadas, voltadas para a criação de ambientes de navegação virtual de Museus.

1.2.1 Objetivos específicos

Realizar o levantamento terrestre arquitetônico dos dados espaciais *indoor* e *outdoor* dos museus;

Inserir atributos descritivos nas feições para navegação pelo acervo dos museus e suas salas de visitação;

Modelar e texturizar as feições geométricas levantadas;

Registrar as nuvens de pontos e as imagens HDR coletadas através Laser

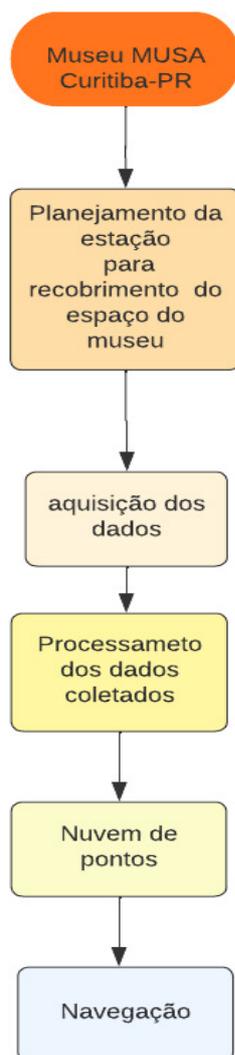
Scanner Terrestre;

Criar um ambiente interativo de navegação, passível de imersividade em realidade virtual com o uso do *software* LAPENTOR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi baseado em um processo que busca como resultado a implantação de um acervo de imagens panorâmicas que viabilize a navegação em um ambiente totalmente virtual. A imagem panorâmica é atualmente usada principalmente na indústria multimídia, para a apresentação de objetos, navegação interativa em sites ou em tours virtuais (BRYAN, 2006). As figuras 1 e 2 apresentam o fluxograma das etapas do trabalho. O processo foi semelhante nos dois casos, diferenciando-se pelo fato do MAE ser um ambiente maior do que o MusA. O trabalho teve início em 11 de julho de 2022, com a primeira coleta de dados em campo.

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO MUSEU MUSA



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO MUSEU MAE



FONTE: O autor (2022).

Inicialmente foram feitas visitas de campo aos museus para já fazer um planejamento do levantamento e observar quais os melhores locais para a realização da instalação (ocupações) do instrumento e coleta de dados facilitando a navegação virtual dos mesmos. Posteriormente foi realizada a coleta de dados ou levantamento de campo. O processamento dos dados ocorreu em dois momentos distintos, o primeiro relacionado ao processamento das nuvens e extração de informações métricas (vistas 3D, fotos panorâmicas) e o segundo no processamento das imagens capturadas e modelagem do sistema de navegação pelos Museus. Essa metodologia se baseou nos estudos de Lin et al. (2021), Napolitano et al. (2018), Siqueira (2017), Medina e Antunes (2013), Habeyche e Méndez (2007), Bryan (2006).

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

O local de trabalho consiste em dois Museus da UFPR: Museu de Arqueologia Etnologia (MAE), localizado na Cidade de Paranaguá, na rua XV de novembro, 575, assim como o MusA – Museu de arte, que está localizado na Rua XV de novembro, 695 no centro da Cidade de Curitiba.

2.1.1 O Museu MAE

O Museu de Arqueologia e Etnologia está instalado no antigo Colégio dos Jesuítas, em Paranaguá. Segundo MAE (2022):

“a história do Colégio dos Jesuítas começa com uma petição da Câmara de Paranaguá ao Padre Superior da Companhia de Jesus, em Roma, enviada no ano de 1682, solicitando a presença constante de jesuítas na vila, para ministrar atividades educacionais, por meio da fundação de uma casa ou colégio. Foram anos de burocracia e de auxílio dos moradores da região, até que o Colégio finalmente pudesse ser inaugurado, em 1755.

Além da função educacional, o edifício servia de residência aos jesuítas, que ali realizavam todas as suas atividades.

Com a expulsão dos padres da Companhia de Jesus determinada pela lei Pombalina, em 1759, os jesuítas tiveram que abandonar a América, passando seus bens para a coroa portuguesa.

A edificação em Paranaguá, então, passou a abrigar diversas repartições de governo, como a Alfândega, o serviço de embarque do Exército e o Tiro de Guerra.

No ano de 1938 o edifício do antigo Colégio dos Jesuítas foi tombado pelo Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (atual IPHAN). Em 1958 a Universidade Federal do Paraná assinou um convênio com a Diretoria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional para uso do monumento e instalação de um museu universitário.

Passou por um processo de reformas, iniciado em 1958, que se estendeu até 1962, quando então o Museu foi oficialmente instituído e seu funcionamento autorizado”.

Na Figura 3 é apresentada uma fotografia do Colégio Jesuíta em frente ao Rio Itiberê quando ainda não era aterrado aproximadamente no início do século XX.

FIGURA 3 - MUSEU MAE



FONTE: <http://www.mae.ufpr.br/historico-do-mae/>

A Universidade Federal do Paraná, passa em 1958 a ser a responsável pelo edifício, sendo que o professor José Loureiro Fernandes, à época catedrático de Antropologia da Universidade, passou a organizar o Museu de Arqueologia e Artes Populares. Em 1962 o conselho universitário da UFPR promulga uma resolução instituindo oficialmente o Museu. Porém o mesmo só é inaugurado no dia e mês de fundação da cidade de Paranaguá em 29 de julho de 1963.

De acordo com MAE (2022):

A proposta de Loureiro Fernandes para o museu estava centrada na recuperação das tradições populares e na divulgação das pesquisas em arqueologia, que estavam em pleno desenvolvimento no Paraná no período de fundação do museu.

Essa proposta inicial permaneceu até o ano de 1992, quando o museu sofreu modificações em sua estrutura e passou a denominar-se Museu de Arqueologia e Etnologia de Paranaguá – MAEP; no ano de 1999 o museu teve novamente seu nome alterado para Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade Federal do Paraná – MAE.

Entre 2002 e 2009 o MAE passou por um processo de revitalização, envolvendo várias ações: o restauro do Monumento; a criação da Reserva Técnica em Curitiba, para onde, por questões, sobretudo técnicas, foi trasladado o acervo; a inauguração da Sala Didático-Expositiva; e a reformulação das

prioridades e formas de atuação do museu. Desde então o MAE organiza suas ações a partir da articulação entre o ensino, a pesquisa e a extensão. Na interface social, o MAE busca a garantia de consonância entre as políticas institucionais e as políticas públicas no que respeita à inclusão, à transparência, à preservação e à educação patrimonial, e a dedicação ao fortalecimento da cidadania”

As figuras 4 e 5 ilustra a situação atual da fachada do Museu MAE e parte de seu interior.

FIGURA 4 - MUSEU MAE ENTRADA PRINCIPAL



FONTE: <http://www.mae.ufpr.br/espacos/>

FIGURA 5 - INTERIOR DO MUSEU MAE



FONTE: O autor (2022).

O museu do MAE está localizado na Rua XV de novembro, 575 – centro histórico, Paranaguá. O horário de visitação é de terça a domingo, das 9h às 17h.

2.1.2 O Museu MusA

No prédio histórico da Universidade Federal do Paraná está localizado o Museu de Artes (MusA), sua origem é o final da década de 1990, atrelado a dois projetos de extensão aprovados pelo CAEX (Comitê Assessor de Extensão – UFPR) naquele período: “Pinacoteca da UFPR” e “Museu a Céu Aberto” coordenados pela prof^o Dulce Osinski, nessa época atuando com Coordenadora de Cultura da Pró-reitora de Extensão e Cultura (PROEC).

Criado oficialmente em 2002 o MusA tem como missão preservar, pesquisar e difundir as artes plásticas, assim como ser um centro de pesquisa e referência no campo da museologia (MUSA, 2022).

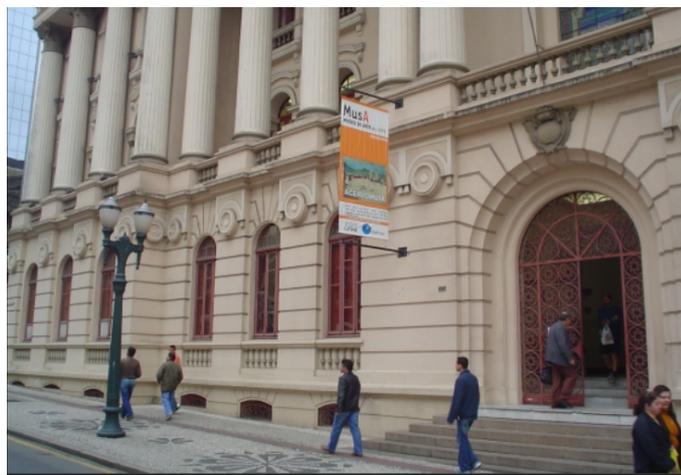
O MusA é um espaço destinado ao estudo e à pesquisa, por meio de exposições, palestras e ações educativas, buscando ser um espaço de aprendizado, reflexão e trocas acerca da história da arte paranaense. Sua administração é vinculada à Coordenadoria de Cultura (COC) da PROEC da UFPR.

De acordo com MusA (2022), atualmente o museu conta com uma sala de exposições de curta-duração, uma sala de exposição de longa duração sobre o

acervo; uma área de pesquisa com diversos títulos relacionados a arte e a museologia, uma sala de apoio para as ações educativas e uma reserva técnica equipada com mapotecas e traineis para acondicionamento de obras bidimensionais.

A Figura6, apresenta a fotografia da fachada lateral do edifício histórico da UFPR, onde o museu MusA está localizado na Rua XV de novembro, 695,1º andar Centro | Curitiba Paraná, o museu fica aberto de 2ª a 6ª feira, das 9h00 às 12h00 e das 13h00 às 18h00 Sábados, domingos e feriados é fechado para a visitação.

FIGURA 6 - MUSEU MUSA



FONTE: <https://www.guiadasemana.com.br/curitiba/arte/estabelecimento/museu-de-arte-da-ufpr-musa>

2.2 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

Basicamente, a coleta de dados em campo dessa pesquisa recorreu ao emprego de um sistema estático de laser scanner terrestre (DALMOLIN; SANTOS, 2004), portátil e de curto alcance (PETRIE; TOTH, 2018), equipado com uma câmera interna de varredura dinâmica ou câmera HDR (BANTERLE et al., 2011). Segundo Medina e Antunes (2013), o Laser Scanner Terrestre tem-se tornado uma ferramenta muito atraente por causa das inúmeras aplicações que os dados podem fornecer, por exemplo, no planejamento urbano, turismo virtual e a documentação de monumentos e sítios históricos, onde são requeridas as construções de modelos realísticos. As nuvens de pontos do *laser scanner*, contém informações com coordenadas x, y, z da fachada como também o valor da intensidade de retorno do sinal.

Para tanto, a metodologia proposta para a captura dos dados com um laser scanner de curto alcance (PETRIE; TOTH, 2018), deve ser planejada para que o

número de ocupações seja o suficiente para cobrir grande parte da edificação e de seu acervo, minimizando as possíveis oclusões (NOGUEIRA; TOZZI, 2009). Dessa forma, será possível que o usuário realize o seu passeio virtual pelo modelo foto-realístico percorrendo todos os marcadores selecionados no painel de navegação (SILVA, 2009), sem haver a sensação de perda de informações nas sobreposições de imagens, também denominadas de falsas correspondências entre imagens estereoscópicas (NOGUEIRA; TOZZI, 2009).

As etapas de pré e processamento das observações coletadas com o LST, envolvem o emprego de softwares para realizar o registro das nuvens de pontos, a correspondência entre as imagens panorâmicas, bem como o processo de texturização das imagens obtidas. O processo de navegação virtual envolveu a criação de marcadores nos ambientes *indoor* e *outdoor*, para viabilizar o deslocamento do usuário pelo modelo foto-realístico, e a inserção de marcadores com atributos gráficos, descritivos, e *mashups* para detalhar as obras presentes nos acervos desses museus.

2.2.1 *Laser Scanner* Terrestre BLK360

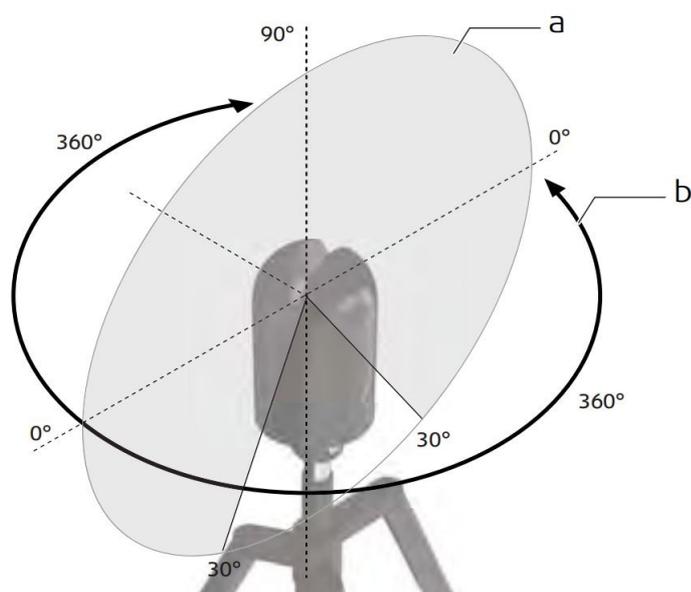
O LST empregado para aquisição das nuvens de pontos, no ambiente interno dos dois museus, foi o modelo BLK360 produzido pela empresa Leica Geosystems. O LST possui comprimento de onda de 830nm e se enquadra na classificação tipo 1, de acordo com o documento 60825-1 da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Segundo Petrie e Toth (2018), trata-se de um sistema de escaneamento de curto alcance, que integra um sistema imageador de câmera junto a varredura laser, possibilitando a geração de produtos fotogramétricos com seus respectivos valores angulares e de distâncias. A possibilidade de se ter mais um dado, além das informações geométricas nos dados fornecidos pelas nuvens de pontos, para que possa contribuir na delimitação e extração das características importantes de fachadas e dos objetos (MEDINA; ANTUNES, 2013).

O LST possui alcance mínimo de 60 cm e máximo de 60 m, com taxa de aquisição de até 360 mil pontos por segundo, o BLK360 pode realizar varredura em três modos distintos (ou resoluções), os quais influenciam na qualidade das observações e no tempo de duração da varredura (LEICA GEOSYSTEMS, 2018).

O instrumento opera com três câmeras HDR com 150 megapixels, permitindo a aquisição de informação RGB para cada ponto, e uma câmera termográfica, a qual

possibilita a geração de imagens termográficas panorâmicas no intervalo de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (LEICA GEOSYSTEMS, 2018; PETRIE; TOTH, 2018). O BLK360 realiza um sistema de varredura panorâmica, com campo de varredura vertical de 300° (a) e horizontal de 360° (b), como apresentado na Figura 7.

FIGURA 7- CAMPO DE VARREDURA PANORÂMICA DO BLK360



Fonte: Leica Geosystems (2018).

A realização de varreduras pode ser executada por comando manual ou remoto, através do *software Recap Pro* instalado em um *tablet*. A comunicação entre o aplicativo e o equipamento se dá via Wi-Fi a partir de uma antena WLAN 360° presente na base do instrumento (ALVES, 2020). O equipamento está disponível no Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia (GEENG) da UFPR.

2.2.2 Processamento do levantamento laser terrestre

O computador utilizado para o processamento dos dados do *laser scanner* possui as seguintes especificações:

- Processador da marca Intel ® Xeon® W-2255, de frequência de processamento 3.70 GHz;
- Memória da Ram de 64,GB
- Armazenamento da marca WD Blue, modelo Wd5000azlx, com 1

módulos de 500;

- Placa de vídeo Nvidia quadros P1000, ddr 5 com 4 GBytes,.

2.2.3 Softwares e aplicativos utilizados

Para a realização do suporte a aquisição dos dados e processamento das observações coletadas foram utilizados os seguintes softwares:

- BLK360 Data Manager Utility
- Lapentor
- Cyclone REGISTER 360, versão 1.5.1
- *Software Recap Pro*

2.3 MÉTODOS

2.3.1 Realização da varredura laser no MAE

A partir da avaliação prévia dos espaços principais do museu, foi realizado o planejamento das estações LST, suas posições a serem ocupadas, de forma que houvesse uma sobreposição entre as nuvens, as imagens e uma redução de pontos de oclusão, ambos necessários para o processo de registro dos pontos homólogos (LIN et al., 2021; LERMA; PÉREZ, 2006). Pontos de oclusão ocorrem quando um ponto da cena é visível apenas em uma das imagens do mosaico e são decorrentes das posições distintas dos sensores e das variações de profundidade da cena (NOGUEIRA; TOZZI, 2009).

O processo de coleta de dados iniciou-se no dia 11 de julho, que foi escolhido porque se trata de uma segunda-feira e neste dia o museu é fechado para visita, funcionando apenas para manutenção e limpeza. Isto foi importante para evitar que houvesse interferência de pessoas passando próximo ao equipamento durante a coleta, o que acarretaria sombras ou áreas sem medição de pontos (PORTALÉS et al., 2009). Segundo Siqueira (2017), algumas situações, a leitura completa do objeto a ser escaneado torna-se impossível devido à presença de objetos em seu interior ou de elementos que causem sombra ou obstáculos em suas fachadas.

O museu possui três andares sendo pavimento térreo, primeiro e segundo andar. No primeiro dia foi realizada a coleta de dados de apenas dois pavimentos, o térreo e o segundo andar, pois no primeiro estava em montagem para uma nova exposição. Dados os objetivos do trabalho, optou-se por realizar a coleta de dados no

primeiro andar quando a montagem da exposição estivesse concluída.

O trabalho de coleta com o LST iniciou-se pela rua General Carneiro, na face do edifício em frente do rio Itiberê. O laser foi posicionado no que chama de café, dando acesso a praça para coleta do primeiro ponto, onde foi possível medir toda a entrada principal. A partir deste ponto, o espaço interno foi percorrido e colocando estações em média a cada 3 metros realizando uma nova coleta com o *laser scanner* (LIN et al., 2021). Ao todo foram efetuadas 33 estações de coleta de dados no térreo e 40 no segundo pavimento tendo o cuidado da sobreposição das cenas, e que cada estação permitisse uma futura navegação virtual (ALVES, 2020).

No dia 18 de julho de 2022, foi executado o levantamento do primeiro andar do museu MAE, com um total de 46 estações. Houve a necessidade de um maior número de estações devido à configuração da exposição montada, que faz com o que o visitante percorra um caminho específico, bastante sinuoso. Assim optou-se em realizar um número maior de ocupações, para que o caminho deste pudesse ser percorrido também na navegação virtual, garantindo ao usuário uma maior possibilidade de explorar o ambiente virtual foto-realístico (DÖLLNER, 2008). Buscou-se a qualidade geométrica no levantamento 3D, com o intuito de se obter uma melhor qualidade no processo de registro e assim evitando deixar falhas de captura no processo de varredura (ALVES, 2020).

Neste dia, o Museu estava aberto à visita e foi tomado o cuidado de, durante o levantamento, coletar cenas com o menor número de pessoas possível. Um dos procedimentos executados foi estacionar o laser em locais nos quais houvesse detalhes importantes da geometria do edifício, normalmente difíceis de serem capturados dada a profundidade da cena (BRYAN, 2006; GRUSSENMEYER; HANKE, 2010). Como exemplo disso, têm-se os arcos de janelas, entradas de portas, ou seja, locais onde existem mais de um acesso para facilitar também a navegação virtual.

Como as imagens que foram utilizadas para a criação da navegação foram coletadas também com o *laser scanner* por meio de sua câmera HDR, de 360 graus de imageamento (BANTERLE et al, 2011). Tomou-se também o cuidado de pensar de como seria a navegação, durante o posicionamento do equipamento para a coleta dos dados, de forma a ter uma navegação mais contínua entre os ambientes, proporcionando uma ferramenta interativa e intuitiva, para que o usuário possa explorar, analisar, sintetizar e formular planos, ações, impressões e simulações através do modelo de paisagem virtual (DÖLLNER, 2008).

Entre as áreas de maior detalhamento obtidas no levantamento, estão as salas de exposição 4 e 5. A Figura 8 mostra uma vista deste local contrastando elementos da arquitetura original, com as redes de infraestruturas prediais do museu.

FIGURA 8 - SALA DE EXPOSIÇÃO.



FONTE: O autor (2022).

Na Figura 9 mostra o posicionamento do laser com a ajuda dos orientadores Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e Prof. Dr. Alex Soria Medina e ao Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor Samir De Souza Oliveira Alves que estava tirando a fotografia e o Graduando Thiago Mota Galkowski que está posicionado o laser na janela.

FIGURA 9 - SALA DE EXPOSIÇÃO, POSICIONAMENTO DO LST BLK360.



FONTE: O autor (2022).

Nas figuras 10 e 11 são apresentados o posicionamento do LST em um ponto de difícil acesso para aquisição de detalhes, como é o caso da janela. Nessa ocupação houve a necessidade do auxílio de uma escada para colocar o equipamento, e, assim obter uma cena da posição da janela. Nesse espaço, encontram-se expostos vários itens antigos como canoas, torradores de cafés dentre outros, fazem parte do acervo do MAE.

FIGURA 1010 - POSICIONAMENTO DO LST BLK360 NA JANELA.



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 111 - LOCAL ESCOLHIDO PARA O POSICIONAMENTO DO LST BLK360.



FONTE: O autor (2022).

A Figura 12 apresenta a ocupação do laser scanner terrestre durante a varredura no pátio interno do Museu. Destaca-se uma árvore nessa localidade, onde os efeitos de sombra projetada serão trazidos para as imagens panorâmicas, bem como o tronco e sua copa serão elementos responsáveis pela presença de pontos oclusos na captura de feições da edificação.

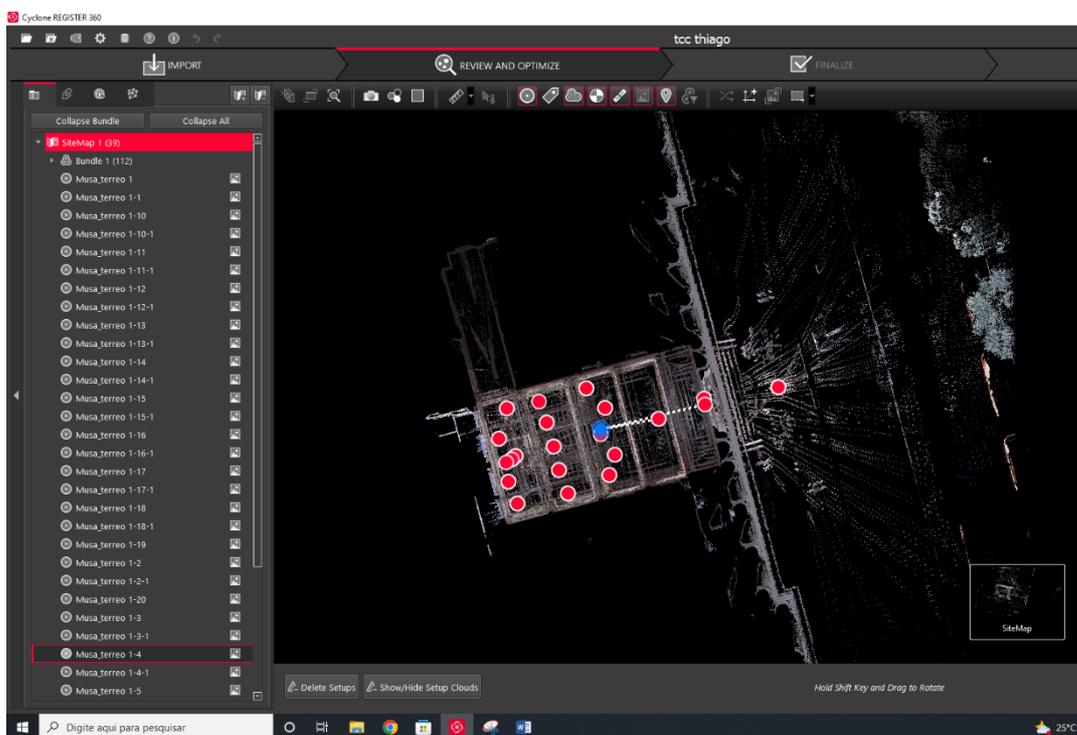
FIGURA 12 - LST BLK360 NO PÁTIO INTERNO



FONTE: O autor (2022).

No levantamento na parte interna do museu foi realizado o posicionamento de aproximadamente 115 estações (cenas), visando ter um recobrimento do ambiente para navegação. Isto gera um alto volume de dados e a necessidade de um computador que possa ter capacidade de processamento destas nuvens de pontos. A Figura 13, apresenta a descarga dessa nuvem de pontos no *software Cyclone*, vista por cima mostrando as posições e as cenas já devidamente registradas.

FIGURA 13 - MUSEU MUSA MAE PONTOS DE LOCALIZACAO LASER



FONTE: O autor (2022).

A Figura 14, construída com na proposta de Lin et al. (2021), apresenta a varredura laser com suas 115 estações onde foi instalado o laser scanner terrestre por pavimento. Escolhidas as ocupações para realização a cobertura total do ambiente, foi coletada uma nuvem de pontos com o recobrimento total das superfícies de interesse, neste caso tanto as fachadas quanto os objetos do museu.

Durante o processo de varredura laser do museu, todos os objetos existentes foram mantidos nas suas posições, contendo desta forma todos os elementos que estavam em exposição durante o período de coleta de dados. Além de serem renderizados, esses objetos pois o objetivo era uma navegação para visita virtual.

O LST é um sensor ativo o então não depende da iluminação do ambiente (WEHR, 2018). Porém para a navegação virtual são usadas as fotografias panorâmicas tomadas com o equipamento, e a qualidade visual destas, tem uma influência direta com a iluminação do ambiente (BANTERLE et al., 2011). Os espaços internos no Museu apresentam diversos tipos de iluminação e assim, para uma boa navegação foi necessário melhorar a qualidade de saturação e brilho das fotografias (CENTENO, 2010).

2.3.2 Realização da varredura laser no MusA.

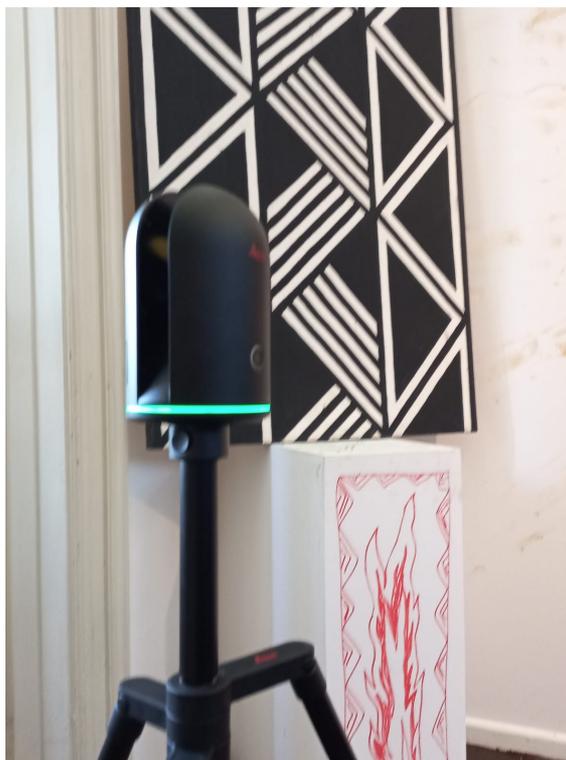
Para a modelagem do MusA foram utilizados dados de uma varredura laser já levantados pelo Geeng. As Figuras 15 e 16 mostram duas estações de coleta de dados no MusA.

FIGURA 15 - BLK360 MUSEU MUSA VARREDURA DOS PONTOS



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 16 - BLK360 POSIÇÃO PARA VARREDURA



FONTE: O autor (2022).

2.3.3 Processamento da nuvem de pontos

O processamento dos dados laser (nuvens) consiste em realizar o registro de todas as nuvens num único referencial, isto foi realizado empregando o programa *Cyclone* da Leica. Como o foco do trabalho era a navegação virtual pelo espaço interno do museu, não foi utilizado um sistema de referência estabelecido topograficamente. O registro foi feito considerando sistema de referência local da primeira nuvem de pontos, que fora utilizada.

Também, não se optou pela utilização de alvos, devido ao tempo necessário para planejamento de sua disposição, pois os alvos devem sempre ficar visíveis em nuvens consecutivas, preferencialmente em número superior a 2 (ALVES, 2020). Desta forma o registro foi feito de forma manual, usando as ferramentas do programa *Cyclone*, utilizando as feições geométricas dos ambientes do museu.

Os dados foram coletados em campo no modo intermediário, sendo que o equipamento foi controlado empregando-se um *tablet* com sistema iOS, onde estava instalado o programa *software Recap Pro*. As informações coletadas (nuvem de pontos) pelo laser foram armazenadas tanto no equipamento como no *tablet*, evitando assim a necessidade de um retrabalho em caso de percas ou danos no transporte do

equipamento.

A Figura 17 apresenta um fluxograma dos trabalhos realizados para a navegação virtual no museu.

FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS LASER SCANNER



FONTE: O autor (2022)

2.3.4 Processo de registro empregando-se programa *Leica Cyclone Register 360*

Após a coleta em campo dos dados, é necessário descarregar os dados do equipamento. Para esta etapa empregou-se o programa *BLk360 Data Manager Utility*. Os dados são exportados no formato *.BLK*, formado exclusivo do software *Cyclone REGISTER 360*. A figura 18 ilustra o processo de *download* dos dados.

FIGURA 18 - IMPORTACAO DOS DADOS DO LASER PARA O COMPUTADOR.

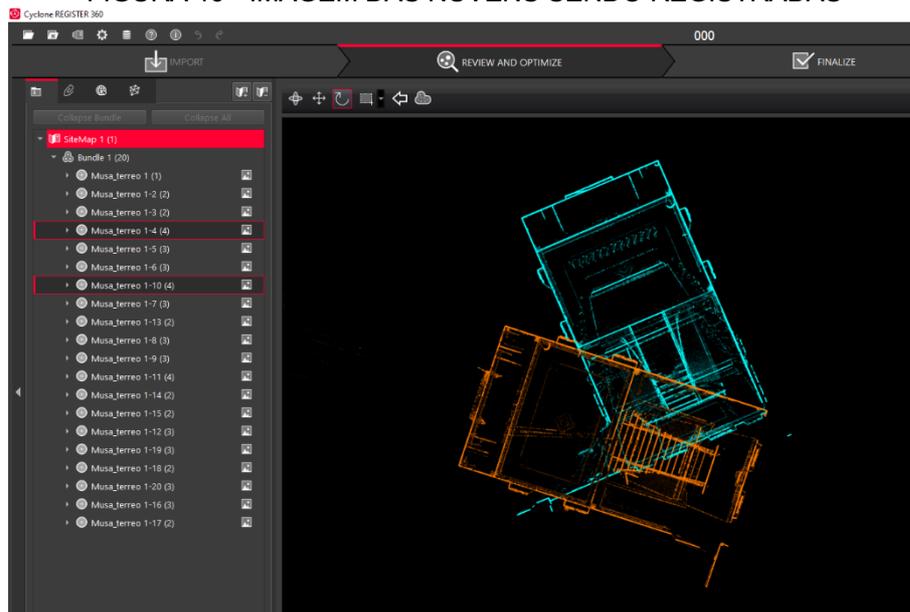


FONTE: O autor (2022).

Com o *software Cyclone Register 360*, em escritório e necessário criar um projeto que conterà todas as nuvens mensuradas no campo. Após a criação do arquivo do projeto, inicia-se o processo de registro. O programa permite a realização de registro automático, mas optou-se pelo registro manual, este registro se processa por par cenas, concatenado as mesmas por pontos homólogos.

No modo manual, uma nuvem é mantida fixa e é possível rotacionar ou girar a segunda nuvem até que haja a sobreposição das mesmas, tanto em planta como em perfil como mostra na Figura 19.

FIGURA 19 - IMAGEM DAS NUVENS SENDO REGISTRADAS

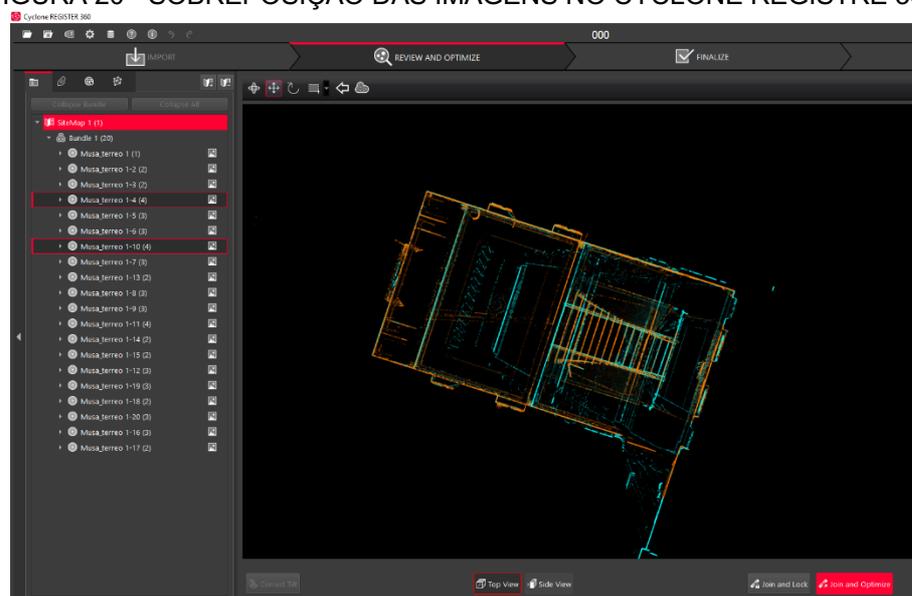


FONTE: O autor (2022)

Uma vez feito correspondência (*match*) entre duas nuvens, o programa indica

o erro médio quadrático do processo de registro. Esse parâmetro, vem a ser utilizado para estimar qualidade posicional dos produtos gerados. Tendo em vista o erro posicional, isso facilita a compreensão de pequenos deslocamentos entre a sobreposição de nuvens de pontos, como apresentado na Figura 20.

FIGURA 20 - SOBREPOSIÇÃO DAS IMAGENS NO CYCLONE REGISTER 360.



FONTE: O Autor (2022).

O *software*, exibe as chamadas linhas de ligação, que possibilita perceber como as cenas estarão conectadas no modelo gerado (Figura 21). Ao final do processo de registro de todas as cenas, o programa questiona se o usuário aceita o ajuste que o mesmo faz e em caso positivo é emitido um relatório com os dados do processamento (anexo 1).

Neste relatório são apresentadas: precisão global do ajustamento final das nuvens, que foram registradas entre si, sobreposição média alcançada e a precisão de cada par registro.

FIGURA 18 - NUVEM DE PONTOS, IMAGENS CONCATENADAS DA LINHAS DE LIGAÇÃO (MAE)



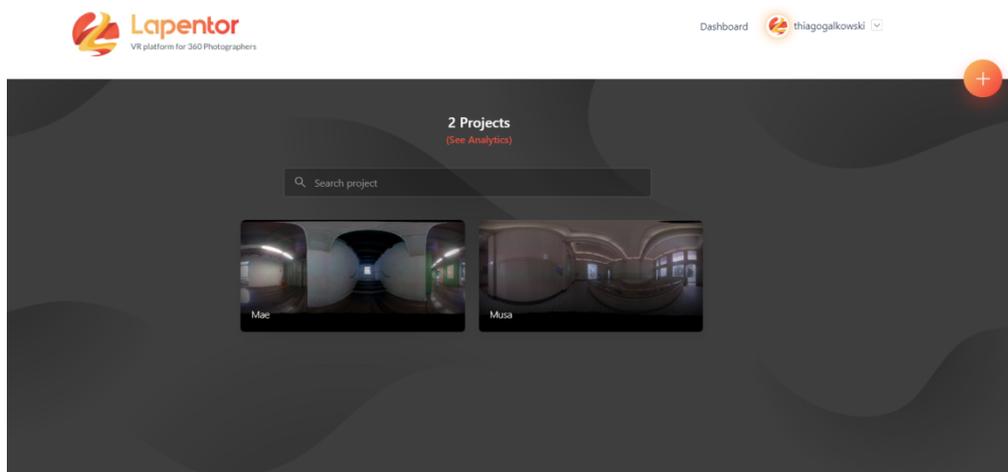
FONTE: O autor (2022)

2.3.5 Navegação virtual

Para gerar a navegação virtual ou “*virtual landscapes*” (DÖLLNER, 2008), foi utilizado o *software Lapentor*, o qual é uma plataforma de uso gratuito para a geração de símbolos e ambientes de navegação virtual. Existe uma versão paga que oferece recursos mais avançados, no entanto a mesma não fora utilizada. O *Lapentor* possui uma interface que funciona muito bem em um computador portátil, *tablets*, *smarthphones* e com óculos de realidade virtual. Um sistema de Realidade Virtual permite a representação tridimensional das características espaciais das informações e a sua interação com o usuário, gerando uma análise qualitativa direta mais intuitiva, o que é extremamente útil no desenvolvimento de projetos de engenharia (FOSSE; VEIGA, 2003). Mesmo que o ambiente virtual de visualização não seja 3D, o contexto da Realidade Virtual define diferentes níveis de interatividade e imersão. Esses níveis de imersão e interação são determinados de acordo com os tipos de dispositivos de entrada e saída de dados no sistema de RV, e da velocidade e potência do computador utilizado. A imersão pode ser definida pela característica de prender a atenção do usuário, enquanto a interatividade refere-se à comunicação usuário-sistema (FOSSE; VEIGA, 2003).

Na Figura 22 é apresentada a tela de desenvolvimento do programa onde é possível ver as duas navegações criadas para os museus, a saber MusA e MAE.

FIGURA 19 - TELA DE CAPTURA LAPENTOR



FONTE: O autor (2022)

Os dados de entrada para a criação da navegação virtual são as fotografias panorâmicas obtidas em ambos levantamentos (MusA e MAE) realizados com o HDR do LST.

Para que seja possível realizar a modelagem são necessárias fotografias panorâmicas da área a ser modelada. O BLK360 captura imagens panorâmicas 3D coloridas e de alta resolução na Figura 23, que posteriormente podem ser sobrepostas em uma nuvem de pontos de boa acurácia. É possível exportar estas imagens para serem usadas em outros programas de fotogrametria e visão computacional.

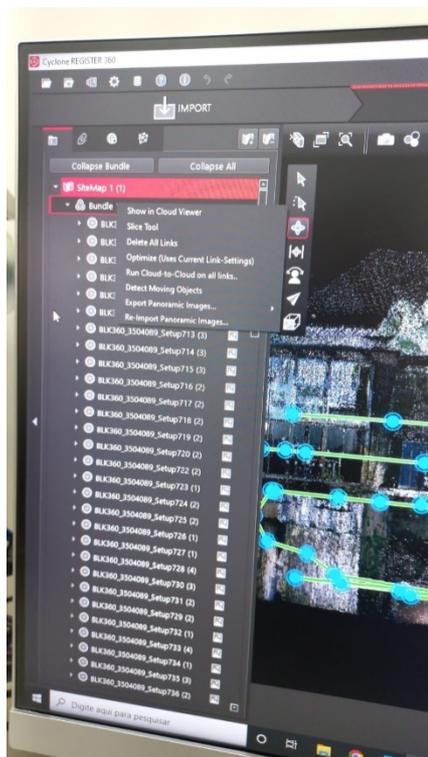
FIGURA 20 - EXEMPLO DE IMAGEM PANORÂMICA OBTIDA COM O BLK360, PATIO MUSEU MAE.



FONTE: O autor (2022)

Depois do processo de registro, foram exportadas as imagens panorâmicas pelo próprio *CYCLONE 360* para que essas imagens fossem usadas no outro aplicativo o *Lapentor*. Na Figura 24 é possível visualizar a opção utilizada no *software CYCLONE 360* para exportar a imagem panorâmica.

FIGURA 21 - EXPORTACAO PANORAMICA DAS IMAGENS



FONTE: O autor (2022).

Após as imagens serem exportadas, elas passaram por um tratamento digital de realce, de forma a melhorar a qualidade visual das mesmas. No *Lapentor*, cada imagem panorâmica recebida é denominada de *hotspot*, sendo que cada um destes *hotspot* tem uma função específica. Um dos *hotspot* que podem ser atribuídos aos modelos panorâmicos são os botões para navegação entre cenas. É possível se deslocar em sentidos pré-definidos e permitir que o usuário faça um giro 360 graus a partir do seu ponto de vista.

O caminho a ser percorrido deve ser conduzido pelo usuário, que indica, a partir da imagem que está ativa, para quais outras imagens ele poderá se deslocar ao pressionar um dos botões de navegação. A mesma navegação pode ser realizada em ambiente de realidade virtual, se o usuário possuir um óculos *rift* com *joystick* de controle, ou com movimentos de corpo e cabeça habilitados no sistema.

A Figura 25 é mostrado os principais de tipos de *hotspot* que podem ser inseridos nas cenas. Neste trabalho foram utilizadas as ferramentas de *pontos hotspots*, *imagens hotspots* e *informações hotspots*. No contexto das ciências cartográficas e da computação, esses *hotspots* do *Lapentor*, cumprem o mesmo papel dos *mashups*. Por sua vez, trata-se da tecnologia *web* que combina informações (multimídia ou não)

de várias fontes em um único aplicativo *web* para uma tarefa ou solicitação específica (ELMISERY; SERTOVIĆ, 2017).

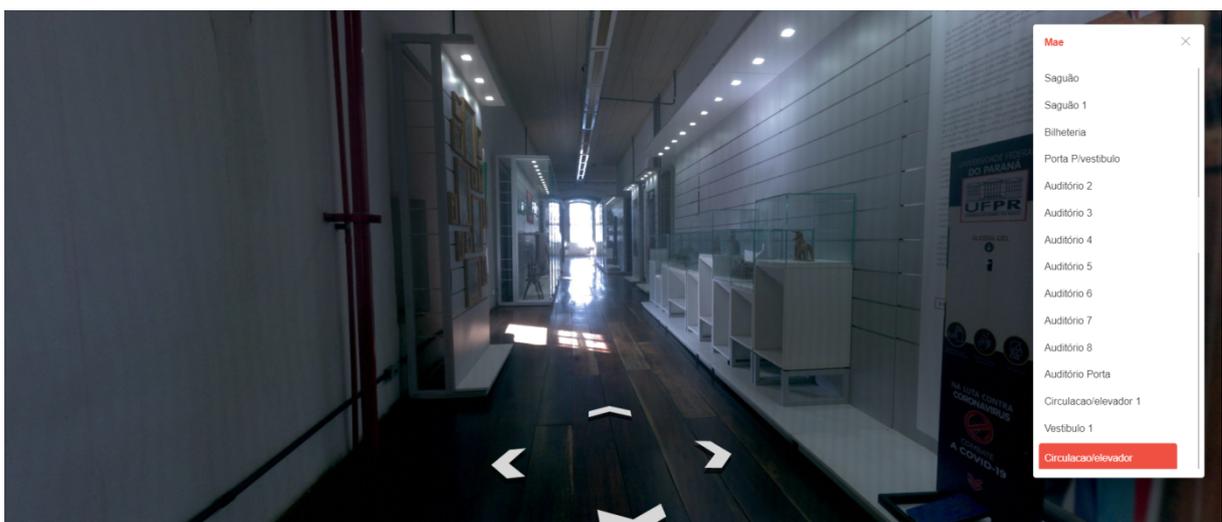
FIGURA 22 - INFORMACAO HOTSPOTS



FONTE: O autor (2022)

Na Figura 26 um exemplo para a navegação *indoor* no MAE, onde da atual posição é possível seguir por quatro caminhos, sendo que está em destaque o acesso a sala de exposição quatro.

FIGURA 23 - EXEMPLO DE NAVEGAÇÃO COM O LAPENTOR



FONTE: O autor (2022)

3 RESULTADOS

Os primeiros resultados obtidos são as nuvens de pontos devidamente registradas. As cenas da Figura 27 apresentam imagens da nuvem de pontos de todo o museu em várias posições. Esta nuvem pode ser exportada para diferentes formatos de arquivos que trabalhem com três dimensões.

FIGURA 24 - NUVEM DE PONTOS (MAE)



FONTE: O autor (2022).

Com a utilização do *software Lapentor* foi possível criar a navegação dos dois museus. Na Figura 28, é apresentada o início da navegação para o MAE, o qual se dá pelo portão principal. Para a navegação o usuário deve clicar nas setas cinzas. Estas recebem um sombreamento em sua simbologia para se tornarem mais perceptíveis em relação as grandes variações de brilho, tonalidade e contraste trazidas pelas imagens panorâmicas RGB (HALIK, 2012). Para poder se deslocar pela paisagem virtual do museu, a interatividade é acionada cada vez que o usuário clicar, ele é levado para uma nova cena. Toda cena possui uma imagem que pode ser vista com um ângulo de 360° ao entorno do seu eixo. Essas explicações apresentadas podem ser conferidas no link de acesso on-line à navegação virtual do MAE, em <https://app.lapentor.com/sphere/mae>.

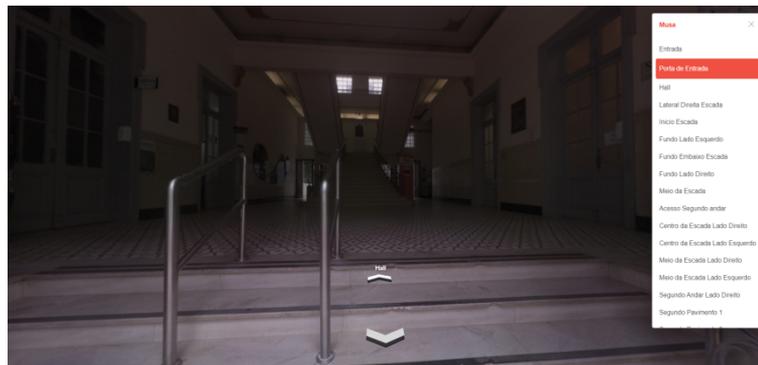
FIGURA 25 - NAVEGAÇÃO MAE



FONTE: O autor

Na Figura 29 ocorre o mesmo processo, quando o usuário clicar na seta de direção, ele é levado para uma nova cena. Lembrando que cada cena refere-se a uma localização de instalação do laser scanner, como pode ser apresentado nos croquis das ocupações mencionados na metodologia do trabalho (Figura 14). Os cenários de navegação virtual pelos espaços do MusA foram disponibilizados no link <https://app.lapentor.com/sphere/musa?scene=630fb09da33d0db0ba02d560>.

FIGURA 26 - NAVEGAÇÃO MUSA



FONTE: O autor

Existem limitações perceptivas no processo de navegação virtual, que variam de usuário para usuário, assim como a velocidade de deslocamento no ambiente de navegação irá demandar custos de processamento e das taxas de transmissão de dados pela conexão do usuário com a web (DÖLLNER, 2008). Ao tratar de navegação virtual temos que levar em conta o processo que está pôr traz deste tipo de trabalho.

Um desses aspectos é o grande número de imagens, o que demandará um computador robusto com bom poder processamento, e também o dispositivo no qual será feita a navegação, uma vez que as imagens precisam estar carregadas no dispositivo fixo ou móvel para que a navegação possa ser feita. No caso desses museus, o MAE teve ao todo 130 imagens de 360° e o musa teve 20 imagens de 360°. Para cada imagem destas é necessário fazer um link de acesso. Existem pontos onde foram colocados mais de quatro links entre cenas. Sem esta “linkagem” a passagem entre cenas inexistiria, impossibilitando assim a navegação.

As figuras 30 e 31 ilustram algumas imagens panorâmicas do processo de navegação, tanto para o museu Mae quanto para o MusA.

FIGURA 27 - IMAGENS DO PROCESSO DE NAVEGAÇÃO MUSEU MAE.



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 28 - IMAGENS DO PROCESSO DE NAVEGAÇÃO MUSEU MUSA



FONTE: O autor (2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a capacidade de utilização de ferramentas de captura de realidade, e instrumentos de modelagem de ambientes virtuais que podem ser empregados por profissionais de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura para atuarem na valorização do patrimônio histórico. As técnicas de levantamentos terrestres, junto a fotogrametria a curta distância possibilitam de forma eficiente, tanto a documentação quanto a promoção do patrimônio cultural, arquitetônico e arqueológico (BRYAN, 2006; LERMA; PÉREZ, 2006).

Apesar do modelo capturado no *software Cyclone 360* e processado no *Recap*, possibilitar a geração de um produto paramétrico e foto-realístico das edificações, nesse trabalho os objetivos se limitaram a construir um modelo texturizado de cenas sobrepostas. Dessa forma, não houve a construção de um modelo 3D texturizado pelas imagens do sensor HDR. Entretanto, para estudos futuros os insumos gerados nas coletas de campo podem servir para geração de produtos cartográficos tridimensionais mais densos, que possam dar subsídios para a documentação e o restauro patrimonial.

A modelagem e criação de ambientes virtuais como resultados gera produtos que podem ser aplicados tanto para diagnosticar patologias nos acervos e edificações, quanto para auxiliar na promoção do turismo autoguiado nesses locais (NAPOLITANO et al., 2018). O escaneamento a laser incorporado à prática de conservação como um método de registro, ao lado de outras técnicas reconhecidas, como levantamento topográfico com estação total, a restituição fotogramétrica em CAD e a Fotogrametria Arquitetônica à Curta Distância (BRYAN, 2006). Para criação de modelos de visita virtual, o emprego desse escaneamento com um sistema de sensores de curto alcance integrados, permitiu que o modelo gerado pudesse ser utilizado para navegação, e deixa insumos futuros para apoiar a tomada de decisão dos curadores.

Porém a criação e modelagem de ambientes internos mostrou-se ser algo complexo e de trabalho moroso, devido ao de ocupações de estações, o processamento dos elementos e a dificuldade de observar detalhes dos objetos capturados na nuvem de pontos, sendo necessário auxílio de imagens HDR para facilitar a modelagem. Uma das dificuldades foi a capacidade de processamento do computador, sendo importante que haja um computador com placa de vídeo dedicada e processador rápido pois o tempo de processamento e demorado e moroso.

Outro ponto que pode ser salientado são as condições ambientais dos ambientes que este tipo de trabalho é realizado. Neste estudo, nas etapas de processamento, notou-se a luminosidade dos ambientes terá uma influência direta sobre a qualidade dos produtos fotográficos gerados. Em locais onde houve uma incidência de luz maior, os objetos ficaram deformados e ambientes que tiveram baixíssima luminosidade houve a perda da qualidade da imagem para ser usada na navegação. Soluções possíveis como aumentar as faixas de sobreposição, implicam em mais ocupações e conseqüente maior tempo de aquisição de dados em campo. Esta vem a ser uma limitação inerente nesses sistemas de curto alcance para essas edificações. Em locais mais escuros seria de interessante colocar uma iluminação extra e locais onde houver muita luz incidente tentar usar algum tipo de filtro para atenuar a entrada de luz, assim os raios de luz não atrapalhariam a coleta das imagens. Para a nuvem laser, estes elementos não apresentam interferência pela natureza do sensor ativo, podendo o levantamento ser executado até mesmo sem nenhuma luz. Porém ambos estão sujeitos ao problema de ocorrência de pontos oclusos como fora relatado na metodologia, o que para esta metodologia proposta demanda um maior número de estações, ou se não for possível, a inerente perda de informação de algumas feições ocorrerá.

O uso das ferramentas de levantamentos da Engenharia Cartográfica e de Agrimensura mostrou-se eficaz para a realização deste processo de criação de modelos de navegação virtual. Importante destacar que é possível enriquecer o ambiente das paisagens virtuais acrescentando links de áudio, vídeo, imagens e outros tipos de mídias e *mashups*, tornando assim a navegação ainda mais atrativa.

5 REFERÊNCIAS

ALVES, S. S. O. **Investigação laboratorial de uma abordagem estatística baseada em planos de controle aplicados ao monitoramento de estruturas com varredura laser terrestre**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 2020.

BANTERLE, F. ARTUSI, A.; DEBATTISTA, K.; CHALMERS, A. **Advanced High Dynamic Range Imaging: Theory and Practice**. Massachusetts: A K Peters, Ltd., 2011. 256p.

BRYAN, P. User Requirements for Metric Survey. In: MacDonald, L. **Digital Heritage: applying digital imaging to cultural heritage**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 149-173.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: UFPR, 2010. 234p.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laser Scanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento**. Curitiba: UFPR, 2004. 97p.

DÖLLNER, J. Real-Time Virtual Landscapes. In: CARTWRIGHT, W.; PETERSON, M. P.; GARTNER, G. **Multimedia Cartography**. Vienna: Springer-Verlag, 2007. p.241-254.

ELMISERY, A. M.; SERTOVIĆ, M. Trusted fog based mashup service for multimedia IoT based smart environmental monitoring. **Journal of Multimedia Information System**, v. 4, n. 4, p. 171-178, 2017.

FIALOVŠZKY, L. **Surveying instruments and their operational principles**. New York: Elsevier, 2013. 738p.

FOSSE, J. M.; VEIGA, L. A. K. Realidade Virtual como Ferramenta na Cartografia 3D. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, Curitiba, PR, 2003. p.

12.

GRUSSENMEYER, P.; HANKE, K. Cultural Heritage Applications. In: VOSSSELMAN, G.; MAAS, H. G. **Airbone and Terrestrial Laser Scanning**. Boca Raton, CRC Press, 2010. p. 271-290.

HABEYCHE, S. C.; MÉNDEZ, R. B. A estereoscopia para fins arquitetônicos e urbanísticos. In: **Anais da VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico-Graphica**. Curitiba, PR, 2007.

HALIK, L. The analysis of visual variables for use in the cartographic design of point symbols for mobile Augmented Reality applications. **Geodesy and Cartography**, v. 61, n. 1, pp. 19-30, 2012.

LERMA, J. L.; PÉREZ, C. 3D Photorealistic and Interactive Reconstruction of Covered up Frescoes. In: BALTSAVIAS, E.; GRUEN, A.; VAN GOOL, A.; PATERAKI, M. **Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage**. London: Taylor & Francis, 2006. p.485-491.

LIN, G.; GIORDANO, A.; SANG, K.; STENDARDO, L.; YANG, X. Application of Territorial Laser Scanning in 3D Modeling of Traditional Village: A Case Study of Fenghuang Village in China. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, p. 770, 2021.

MEDINA, A. S.; ANTUNES, A. F. B. Uma nova abordagem para extração de feições arquitetônicas através de dados provenientes do laser scanner terrestres. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, INPE, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013. p. 1959-1966, 2018.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001. 479p.

NAPOLITANO, R. K.; SCHERER, G., GLISIC, B. Virtual tours and informational

modeling for conservation of cultural heritage sites. **Journal of Cultural Heritage**, v. 29, p. 123-129, 2018.

NOGUEIRA, F. M. A.; TOZZI, C. L. Reconstrução tridimensional por visão estéreo e detecção de oclusões. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 2, p. 2009.

PORTALÉS, C.; LERMA, J. L.; PÉREZ, C. Photogrammetry and augmented reality for cultural heritage applications. **The Photogrammetric Record**, v. 24, n. 128, p. 316-331, 2009.

PETRIE, G.; TOTH, C. K. Terrestrial Laser Scanners. In: SHAN, J.; TOTH, C. K. (Eds). **Topographic laser ranging and scanning: principles and processing**. CRC Press, 2018.

SILVA, J. H. **Viabilidade da utilização do Google Earth na construção de mapas de setores urbanos para fins censitários**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia de Computação, Área de Concentração Geomática, Rio de Janeiro, 2009.

SIQUEIRA, S. V. Metodologia de cadastro realizado através de escaneamento à laser: Casa Marquesa de Santos. **Anais do 1º Simpósio Científico ICOMOS Brasil**, Belo Horizonte, MG, p. 14, 2017.

WEHR, A. LiDAR Systems and Calibration. In: SHAN, J.; TOTH, C. K. (Eds). **Topographic laser ranging and scanning: principles and processing**. CRC Press, 2018.

Sites Consultados

CPE TECNOLOGIA. **Laser Scanner: o que é e principais vantagens**. Disponível em: <https://blog.cpetecnologia.com.br/laser-scanner-a-tecnologia-aliada-em-seus-trabalhos/>

LAPENTOR. **Lapentor Free 360 Virtual Tour Software**. Disponível em: <https://lapentor.com/>.

LEICA-GEOSYSTEMS. **Leica Cyclone**. Disponível em: <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>

MAE. **Museu de Arqueologia e Etimologia da UFPR**. Disponível em: <http://www.mae.ufpr.br/>

MUSEU DE ARTE DA UFPR – MusA. **Histórico do MUSEU de ARTE da UFPR**. Disponível em: <http://www.musa.ufpr.br/links/historico.html>