UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Vinícius Marques Walter

Fotogrametria e patrimônio cultural edificado: estudo de caso em Mariana, Minas Gerais

Ouro Preto
2022

Vinícius Marques Walter

Fotogrametria e patrimônio cultural edificado: estudo de caso em Mariana, Minas Gerais

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Dr. Tito Flávio Rodrigues de Aguiar

Ouro Preto
2022

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinícius Marques Walter

Fotogrametria e Patrimônio Cultural edificado: estudo de caso em Mariana, Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Escola de Minas, da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 26 de outubro de 2022

Membros da banca

Dr. - Tito Flávio Rodrigues de Aguiar - Orientador (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Escola de Minas/UFOP)
Me. - Maurício Leonard de Souza - (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Escola de Minas/UFOP)
Dr. - Guilherme Nunes de Vasconcelos - (Departamento de Projetos/Escola de Arquitetura/UFMG)

Tito Flávio Rodrigues de Aguiar, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 24/08/2023.

Documento assinado eletronicamente por **Tito Flavio Rodrigues de Aguiar**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/08/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0580520** e o código CRC **CDDCD97E**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591594 - www.ufop.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo abordar a técnica de fotogrametria digital como ferramenta de documentação do patrimônio arquitetônico edificado, de forma a obter uma malha digital tridimensional que traga informações de texturas, volume, dimensões, dentre outras informações para registro e inventariamento do bem, visando utilizar softwares e equipamentos de custo relativamente baixo. Será feito um estudo de caso da aplicação da técnica de escaneamento 3D, utilizando o Pelourinho da Praça Minas Gerais na cidade de Mariana, em Minas Gerais. Foram feitos ensaios prévios e experimentais para, então, realizar o levantamento do Pelourinho. Foram utilizados para esse estudo uma câmera PowerShot Canon HS 520 para o levantamento fotográfico, o software Meshroom para a restituição fotogramétrica do patrimônio, de forma a criar uma malha tridimensional, e o software Blender para limpeza e polimento da malha construída. A partir disso, foi realizada uma análise crítica do processo, trazendo as principais limitações que um baixo orçamento pode trazer a essa técnica e os resultados que se pode obter.

Palavras-chave: Blender, fotogrametria digital, Meshroom, patrimônio arquitetônico.

ABSTRACT

The present work's goal is to approach the technique of digital photogrammetry as a tool for documenting the built architectural heritage, in order to obtain a three-dimensional digital mesh that brings information about textures, volume, dimensions, among other information for recording and inventorying the property, aiming to use relatively low-cost software and equipment. A case study will be made from the application of the 3D scanning technique, using the Pelourinho da Praça Minas Gerais in the city of Mariana, in Minas Gerais. Previous and experimental tests were carried out to then carry out the survey of Pelourinho. For this study, a Canon PowerShot HS 520 camera was used for the photographic survey, the MESHROOM software for the photogrammetric restitution of the heritage, in order to create a threedimensional mesh, and the Blender software for cleaning and polishing the constructed mesh. From this, a critical analysis of the process was carried out, revealing the main limitations that a low budget can cause to this technique and the results that can be obtained.

Keywords: Architectural heritage, Blender, digital photogrammetry, Meshroom.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pelourinho de Mariana 7

Figura 2 - Levantamento fotográfico da almofada 18

Figura 3 - Captura da tela do ensaio no programa Meshroom 19

Figura 4 - Decimação da malha 3d 20

Figura 5 - Caminho para encontrar a malha decimada. 20

Figura 6 - Fotogrametria da almofada sem limpeza. 21

Figura 7 - Almofada renderizada 21

Figura 8 - Dificuldades gerada pelas sombras projetadas..... 22

Figura 9 - Modelo 3d da almofada visto de cima 23

Figura 10 - Vista frontal modelo 3d do pelourinho 24

Figura 11 - Vista lateral esquerda do modelo 3d 25

Figura 12 - Vista posterior do modelo 25

Figura 13 -Vista lateral direita do modelo 3d 26

Figura 14 - Vista isométrica do modelo 3d 26

Figura 15 Vista isométrica 2 26

Figura 16 - Detalhes da base..... 27

Figura 17 - Detalhe da base 2 27

Figura 18 - Concha 28

Figura 19 - Topo do pelourinho 28

Figura 20 - Topo do pelourinho 28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8

1.1 Justificativa 8

1.2 Objetivos Gerais 8

1.3 Objetivos Específicos 8

2 OBJETO DE ESTUDO: O PELOURINHO 8

3 PATRIMÔNIO CULTURAL 10

4 IMPORTÂNCIA DA DOCUMENTAÇÃO E COMO A FOTOGRAMETRIA PODE SER EFICIENTE 11

5 FOTOGRAFIA 12

6 FOTOGRAMETRIA E FERRAMENTAS 13

6.1 Definição e Histórico 13

6.2 Fotogrametria Digital 14

6.3 Nuvem de Pontos 15

6.4 Ferramentas 16

6.5 Requisitos Mínimos para o Meshroom 18

6.6 Blender 19

7 O ESTUDO DE CASO 20

7.1 Ensaio 20

7.1.1 Levantamento 20

7.1.2 Criação da Malha 21

7.1.3 Limpeza no Blender 23

7.1.4 Análise dos Resultados 24

7.2 Levantamento do Pelourinho 25

7.2.1 Levantamento 25

7.2.2 Geração da Malha e Limpeza 26

7.2.3 Análise dos Resultados 26

8 CONCLUSÃO.....31

REFERÊNCIAS.....33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

É fundamental que se explorem novas tecnologias de documentação do patrimônio arquitetônico edificado. A importância da documentação é explicitada por diversos teóricos do restauro clássico, como Viollet-le-Duc, Camillo Boito e Cesare Brandi, e também sempre teve muito destaque nas cartas patrimoniais, como a Carta de Atenas de 1933 e a Carta de Veneza, de 1966. Além disso, a fotogrametria digital tem se tornado cada vez mais acessível, com a disponibilidade de softwares gratuitos que permitem a criação de malhas 3D a partir de fotografias, é importante que se explore essas ferramentas Open Source para a democratização do conhecimento científico acerca dessa técnica e a disponibilidade para pequenos escritórios e profissionais.

1.2 Objetivos Gerais

Este trabalho buscou investigar a técnica de fotogrametria digital com base em escaneamento 3D, usando-a como parte do processo para cadastrar os bens de um patrimônio edificado, por meio de ferramentas que tenham custo acessível. Outro objetivo é fazer a avaliação crítica do processo, identificando suas vantagens e desvantagens.

1.3 Objetivos Específicos

Foram objetivos específicos deste trabalho:

a) Avaliar o emprego de softwares, de preferência livres, no trabalho da fotogrametria digital.
b) Estimar os custos de softwares, hardwares e processos da fotogrametria digital.
c) Identificar as limitações técnicas no emprego da fotogrametria digital no levantamento dos bens do patrimônio edificado.

2 OBJETO DE ESTUDO: O PELOURINHO

Ao contrário do que normalmente se pensa, o Pelourinho que se encontra na Praça Minas Gerais hoje em dia, não é o “original”. O Pelourinho construído em 1750 foi demolido em

1871 por determinação da Câmara, em decorrência da luta contra o regime escravocrata. (CONDURU, 2020). O monumento que pode ser visto na Praça Minas Gerais hoje foi construído em 1981, a mando do governo municipal de Jadir Macedo, tendo como base o projeto feito na década de 30 pelo historiador e pintor José Wasth Rodrigues utilizando, supostamente, os elementos restantes do anterior.(CONDURU, 2020). A motivação da reconstrução desta obra é controversa e necessita de discussão aprofundada sobre os valores e a memória que esse monumento traz. Segundo Conduru:

> Provavelmente, este monumento resultou da tentativa de recompor a configuração original de uma das principais praças construídas pelos portugueses na América do Sul. No entanto, como tentativa de reconstituição de um instrumento de violência e tortura que visava à manutenção da ordem colonial e escravista, a obra também pode ser lida como um índice peculiar de dois dos períodos mais antidemocráticos da recente história do Brasil: o regime totalitário comandado por Getúlio Vargas, entre 1937 e 1945, e a ditadura militar- civil, entre 1964 e 1985.(CONDURU, 2020).



Figura 1 – Pelourinho de Mariana – Fonte: Sylvio Bazote

Apesar do pelourinho trazer consigo um símbolo de opressão, racismo e de um regime escravocrata, ele ainda tem um valor documental e histórico extremamente importante para a cidade de Mariana. Ele não só conta a história de uma das primeiras cidades de Minas Gerais no período colonial, como também conta da Mariana do século XX.

Portanto, esse se torna o motivo principal da escolha do monumento: a necessidade de se preservar a história que traz esta escultura. Por mais controversa que seja sua reconstrução da década de 80, ela ainda traz um valor histórico muito importante para entender a comunidade marianense.

Os motivos secundários para a escolha a escolha do pelourinho como objeto de estudo é a complexidade formal dos elementos presentes no bem, como curvas, volumes cilíndricos, correntes e formas vazadas. Estes elementos puderam testar quais são as limitações presentes na técnica de fotogrametria para contribuir na discussão deste trabalho. O segundo motivo é a familiaridade do autor com o monumento, já que nasceu e cresceu na cidade de Mariana, e já teve contato da obra em diversos momentos de sua vida.

3 PATRIMÔNIO CULTURAL

Algumas definições de Patrimônio Cultural são importantes para entender o nosso objeto de estudo. Entender estes conceitos é fundamental para a prática da conservação e do restauro, e delimitam qual o nosso foco dentro deste trabalho.
A Constituição de 1988 (BRASIL, 1988), traz a seguinte definição de Patrimônio Cultural:

> Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem: I – as formas de expressão; II – os modos de criar, fazer e viver; as criações científicas, artísticas e tecnológicas; IV – as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais; V – os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico. (BRASIL, 1988)

Bohan (1975, apud LEMOS, 1981) defende que o Patrimônio Cultural deve ser dividido em três grandes categorias de elementos, já que é uma definição bastante abrangente. A primeira categoria, segundo o autor, engloba os elementos naturais, como montanhas, rios, florestas e todos os elementos da natureza de uma forma geral. (LEMOS, 1981). A segunda categoria abrange o conhecimento técnico, o “saber fazer”, e as tradições (LEMOS, 1981). A terceira categoria se refere aos objetos criados a partir da segunda categoria: Artefatos, edificações, obras de arte, ferramentas e outros elementos. Para este estudo específico, a definição que abrangerá nosso objeto será a terceira categoria definida por Lemos (LEMOS, 1981), que na

constituição se refere às obras, objetos, documentos, edificações, e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais (BRASIL, 1988).

4 IMPORTÂNCIA DA DOCUMENTAÇÃO E COMO A FOTOGRAMETRIA PODE SER EFICIENTE

O processo de documentação de um edifício é uma atividade importantíssima. Ela é fundamental nas tomadas de decisões projetuais, e deve acompanhar todas as mudanças que uma construção passa, sendo feita antes de qualquer uma dessas mudanças ter sido efetuada.(LETELLIER, apud GROETELAARS, 2007). Além disso, é um dos pilares da discussão da teoria do restauro e conservação. Isso é explicitado nas cartas patrimoniais, e nas teorias clássicas.

Um dos teóricos da conservação e restauro mais importantes do Século XX, Cesari Brandi, nos traz algumas reflexões importantes acerca da restauração e conservação das obras de artes, e foi um dos teóricos que mais influenciou as diretrizes da Carta de Veneza de 1964.(KÜHL, 2012). Apesar da sua discussão estar focada principalmente nas obras de arte, devido ao contexto histórico de pós guerra, em que muitas obras de arte foram destruídas, a teoria Brandiana pode ser aplicada em outras áreas.

Em seu livro, Brandi defende que o monumento possui duas instâncias principais. A instância histórica do monumento, que se encontra principalmente na documentação do bem, como testemunha de momentos da história humana, e sua instância estética, que compreendem os valores artísticos e plásticos do bem, forma, volume e temática. A teoria de Brandi tem como objetivo a recuperação da “Unidade Potencial” do monumento, levando em consideração esses dois valores intrínsecos a ele. Ademais, para o autor, a instância estética deve ter prioridade sobre a histórica:

> A instância estética detém a primazia, pois a singularidade de uma obra de arte em relação a outros produtos da atividade humana não depende de sua materialidade, mas de seu caráter artístico, sem jamais, porém, subestimar a instância histórica. Assim, uma eventual integração necessária para que a obra de arte volte a ser percebida como tal (caso dos afrescos citados anteriormente), “deverá ser sempre e facilmente reconhecível; mas sem que por isso se venha a infringir a própria unidade que se visa a reconstruir.(KÜHL, 2012)

Brandi teve diversas experiências como restaurador, quando lecionava no Instituto Central de Restauração de Roma(ICR) (KÜHL, 2012) O Instituto abrigava um aparato técnico multidisciplinar, contendo laboratórios de física e química, historiadores, críticos de arte, e imensas bibliotecas, inclusive com negativos de fotografias. A análise documental era de fundamental importância para que chegasse o mais próximo possível da Unidade Potencial do monumento, pois só assim poderia-se compreender quais foram as intervenções às quais ele foi submetido e qual era a estética autêntica da obra em sua concepção.

Sabendo da importância da documentação para a preservação de valores de um monumento, torna-se importante que se busque novas tecnologias que sejam eficientes não só como ferramentas documentais, mas também como ferramentas de manutenção. A fotogrametria pode ter utilidade na conservação do aparato físico do monumento,visto que a técnica pode ser utilizada como uma ferramenta de diagnóstico e identificação de patologias que poderiam trazer um monumento à ruína, e assim, desconfigurar a sua instância formal.

> O restauro é fundamentado na análise da obra, de seus aspectos físicos, de suas características formais e de seu transformar no decorrer do tempo, para, pelo ato crítico, contemporizar as instâncias estética e histórica, e intervir, respeitando seus elementos caracterizadores, com o intuito de valorizá-la e transmitila ao futuro. (KÜHL, 2012).

Portanto, a fotogrametria se torna uma técnica viável que contribui para a preservação de alguns dos principais valores de um bem edificado: Seu valor formal é preservado pela capacidade da técnica de preservar os volumes, as formas e texturas do bem edificado. Esses elementos podem trazer informações de marcas ao longo da história, e patologias podem ser identificadas nas texturas documentadas no levantamento. O objeto digital em 3D nos permite ter uma visão dinâmica e muito mais acessível do que os desenhos técnicos proporcionam, por se aproximar da forma em que estamos habituados e a observar o mundo.

5 FOTOGRAFIA

A criação da fotografia trouxe novas possibilidades de informação e conhecimento (KOSSOY, 1988). Ela revolucionou a tecnologia da informação com a capacidade de registrar ondas eletromagnéticas de luz através de uma câmera, permitindo que se tivesse um registro mais autêntico da realidade capturada. Viollet-le-Duc(2000, apud YANAGA, 2006) já destacava a importância desta tecnologia na arquitetura para a restauração de

edifícios antigos, que complementava as informações que muitas vezes não eram registradas nos desenhos, mesmo os mais exatos.

> As potencialidades da fotografia está no registro instantâneo e fiel , na obtenção de informações adicionais sobre sua cor e textura, possibilitando a identificação de materiais que a compõem e seu estado de conservação, além de revelar detalhes das estruturas fornecendo documentos de estados sucessivos de obras em andamento.(YANAGA, 2006)

Desde então a fotografia tem se tornado cada vez mais acessível. Hoje é possível que tiremos uma foto de altíssima qualidade utilizando apenas o nosso celular, e com o advento da internet, compartilhamos as imagens obtidas em questão de segundos. Este avanço permitiu que a pesquisa científica obtivesse uma nova ferramenta de investigação. A análise de dados a partir de uma fotografia foi cunhada como Fotogrametria, e é utilizada em diversas áreas, como engenharia, ciência forense, cartografia, arquitetura, medicina, arqueologia e outros campos do conhecimento.

6 FOTOGRAMETRIA E FERRAMENTAS

A fotogrametria pode ser realizada usando diferentes técnicas e equipamentos. Ao longo do tempo, sofreu modificações e ajustes, principalmente após o advento da fotografia digital.

6.1 Definição e Histórico

A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética registrados. (ASP, 1966 apud PLÍNIO, 2000).

A aplicação da fotogrametria não é algo exclusivo do século XXI. A palavra foi inventada pelo arquiteto alemão Meidenbauer em 1867.(DRAP, 1997 apud GROETELAARS, 2004), que fotografava bens patrimoniais na Alemanha que possuíam grande valor arquitetônico (SILVA, 2016). A técnica ganhou destaque nos primeiros anos do século XX, resultando na criação de organizações especializadas, como a sociedade austríaca de fotogrametria, em 1907, fundada pelo Dr. Edward Doležal em Viena.(SILVA, 2015), e 6 anos depois, no mesmo estado, o primeiro congresso de fotogrametria no mundo aconteceria em 24 de setembro de

1913.(SILVA, 2015). 21 anos depois, seria criada a Sociedade Americana de Fotogrametria, em 1934, que até hoje é uma das sociedades mais atuantes no campo(SILVA, 2015). No Brasil, a Sociedade Brasileira de Cartografia seria fundada em 28 de outubro de 1958, com sede no Rio de Janeiro, contando com 6 equipes técnicas, incluindo uma de fotogrametria e outra de fotointerpretação.(SILVA, 2015). Mas até então a fotogrametria não era tão difundida no campo da arquitetura.(GROETELAARS, 2008)

> A Fotogrametria aplicada à Arquitetura toma impulso somente a partir dos anos 60, quando vários países passam a se preocupar com a conservação de monumentos, levando em 1964 à promulgação da Carta de Veneza, que permitiu estabelecer novos conceitos para a preservação do patrimônio cultural.(GROETELAARS, 2008)

Com o avanço da computação gráfica, e de computadores que permitem maior quantidade de cálculos com menor quantidade de recursos, a fotogrametria digital se tornou viável e passou a ser aplicada em diversas áreas ao longo das últimas décadas. Atualmente, ela tem se tornado cada vez mais barata e acessível, permitindo que se consiga malhas tridimensionais até mesmo com um celular.

No presente trabalho, o foco será dado à Fotogrametria digital, e a utilização da tecnologia de nuvem de pontos para a geração de malhas tridimensionais a partir de fotografias.

6.2 Fotogrametria Digital

A fotogrametria digital é dada a partir de fotos em formatos digitais, em que os pixels da fotografia são analisados pelo computador. Desenvolvida nas décadas de 80 e 90, foi importantíssima para a viabilização nas mais diversas implementações da técnica ao longo do tempo (AMORIM et GROETELAARS, 2004 *apud* YANAGA, 2006).

Devido a automatização de diversos processos da fotogrametria, o tempo de análise das fotografias reduziu-se consideravelmente e, consequentemente, afetou os custos de implementação. As técnicas de foto análises analógicas eram extremamente complexas, e exigiam um equipamento custoso. Também nos dá algumas informações sobre as desvantagens do uso da fotogrametria digital até os anos 2000:

> [...], os autores ressaltam que uma das desvantagens das estações é a qualidade das imagens digitais em relação às tradicionais em filmes. A excelência da qualidade da imagem digital, bem como a precisão obtida, exige a rasterização em scanner de alta resolução,levando, consequentemente, ao aumento no volume dos arquivos e diminuição da área de visualização no monitor gráfico e tempo adicional no processamento da imagem. Isto significa dispor de unidades sobressalentes para gravar arquivos, gravador de CD, gravador de disco ZIP ou mesmo, HD externo. Uma fotografia aérea

> padrão(23 x 23 cm) com 800 dpi de resolução correspondente ao tamanho do pixel de 33 microns – ocupa 50 mb na placa de memória do computador. Em última análise pode-se afirmar que a precisão está diretamente ligada à resolução e qualidade da imagem rasterizada.(TEMBA, 2000)

O avanço da capacidade de armazenamento de dados, o exponencial crescimento da velocidade de processamento fazem com que essas limitações apresentadas pelo autor não sejam tão significantes quanto foram outrora. Hoje alguns modelos de celulares já permitem que se faça escaneamento 3D em tempo real utilizando apenas a câmera do aparelho, como o SAMSUNG Galaxy S20 Plus, e o Iphone que possua tecnologia LiDAR.

Apesar da qualidade de resolução de fotos em filme ainda prevalecer sobre as digitais, as vantagens práticas da fotografia digital acabam tendo peso muito maior na adoção do processo, e conseguem entregar excelentes resultados.(YANAGA, 2006)

6.3 Nuvem de Pontos

Uma das técnicas utilizadas na fotogrametria digital para escaneamento 3D, é a de geração de uma nuvem de pontos a partir das fotografias obtidas por meio da sobreposição de áreas comuns às fotografias. Este é o princípio básico do que pode ser chamado de Fotogrametria estereoscópica, e o termo utilizado para denominar esta técnica é DSM, ou Dense Stereo Matching, na língua inglesa. O computador fará a análise das fotografias digitais, e seu algoritmo irá reconhecer Pixels homólogos nas fotografias. Por isso, é importante que o objeto tenha uma textura não uniforme, para que o computador tenha mais informações para gerar a malha tridimensional (GROETELAARS, 2016).

A obtenção do objeto tridimensional a partir do processo de DSM, segundo POLLEFEYS (*apud* GROETELAARS, 2016), se dão em 5 etapas principais:

> 1- inserção das fotos;
> 2- correlação das fotografias através da associação automática de feições;
> 3- reconstrução da geometria do objeto e da câmera (processo conhecido como Structure from Motion), gerando "nuvem de pontos" esparsa e obtendo valores aproximados dos parâmetros internos da câmera e dos posicionamentos das estações);
> 4-associação densa de pixeis homólogos (processo denominado de Dense Matching), por meio dos mapas de profundidade;
> 5-criação do modelo geométrico, na forma de "nuvem de pontos" densa ou malha triangular.

A partir das 5 etapas acima, a textura é aplicada na malha, e assim o objeto tridimensional poderá ser convertido para o formato digital.

Algumas limitações surgem desse processo. Objetos que não possuam bordas claramente definidas, como cenas que possuam grama, cordas, objetos cilíndricos opacos, que possuam transparência ou alta reflexão dificultam muito o trabalho para o tratamento. Isso faz com que a técnica não seja apropriada para todos objetos(MAGALHÃES, BERREDO, GASPAR, 2018).

Em diferentes ângulos, a reflexão ou refração do objeto se comporta de forma não convencional em comparação a objetos opacos e não reflexivos. É possível contornar tais dificuldades, sinalizando pontos nos locais de reflexividade, com adesivos que iriam se destacar nas fotografias em diferentes ângulos.(GROETELAARS, 2016).

Outro fator limitante, é a quantidade de dados gerados pela técnica. É importante que se tenha imagens de alta qualidade e em grandes quantidades para que se crie uma malha de qualidade. O processo gera grandes volumes de dados durante os cálculos, consumindo grande parte da memória do hardware utilizado.

6.4 Ferramentas

Para a implementação da técnica da fotogrametria digital, é necessário que se utilize softwares específicos. Existe no mercado uma série de produtos que possibilitam o processo de DSM a partir da computação de várias fotos. Abaixo, segue, no QUADRO 1, alguns dos principais produtos que oferecem esse tipo de abordagem.

QUADRO 1 - Softwares para fotogrametria digital por DSM

SOFTWARE	PREÇO	PLATAFORMA	LICENÇA PARA ESTUDANTES

Agisotft Metashape	USD **179,00** (Licença padrão) USD **3499,00** (licença profissional)	PC	Sim
Capturing Reality	USD **2625,00** **(Licença** Ilimitada)*	PC	Não
3DS Zephyr	Gratuito	PC	-
Photomodeler Scanner	USD **179,00** (Licença padrão) USD **3499,00** (licença profissional)	PC	Sim
Canvas	Gratuito	IOS	-
HEGES	Gratuito	IOS	-
Qlone	Gratuito	Android IOS	-
Meshroom	Gratuito	PC	-
3d Survey	**€3000,00** (Licença perpétua) **€167,00** (Assinatura mensal)	PC	Sim
Pix4D	USD **5,950** (Perpétuo) USD **2,950** (licença profissional)	PC	Não encontrado

Legenda

€ = *Euro*

USD: *United States dollar:* moeda norte-americana

PC: - Personal Computer - Computador

IOS - Sistema operacional da empresa Apple para smartphones

*O software Capturing Reality trabalha com a venda de créditos para processamento das imagens.

**Softwares gratuitos não necessitam de licença para estudantes

6.5 Requisitos Mínimos para o Meshroom

Para a implementação do processo de fotogrametria digital por DSM, é necessário que se tenha uma câmera fotográfica ou um celular que tenha a capacidade de tirar fotos, e um computador. Para o presente trabalho, trabalhou-se com o software MESHROOM, da AliceVision, uma iniciativa da organização europeia sem fins lucrativos ALICEVISION Association, por ser um programa livre e gratuito, tendo em vista o objetivo de democratizar o acesso à técnica. Segundo o website, o programa possui os seguintes pré-requisitos apresentados nos Quadro 2 e 3.

Quadro 2 - Pre-requisitos mínimos:

Sistema Operacional	Windows 64bits, Linux, macOS(Com adaptações)
Processador	Processadores recentes da INTEL ou AMD*
Memória RAM	8Gb
Disco Rígido	~400MB para o MESHROOM + espaço para os dados
Placa de vídeo dedicada	NVIDA com CUDA ativada (com capacidade de computação >=2).

Fonte: AliceVision, on line (tradução nossa).

*A página não especifica o que seria um “processador recente”

** A página não especifica a quantidade de dados necessários para a criação da malha. Com base neste estudo de caso, o autor necessitou de mais de 24Gb de espaço interno.

Quadro 3 - Pré-requisitos recomendados:

Sistema Operacional	Windows 64bits, Linux, macOS(Com adaptações)
Processador	Intel Core i7 ou AMD Ryzen 7
Memória RAM	32Gb
Disco Rígido	HD ou SSD de 20GB ou mais
Placa de vídeo dedicada	NVIDIA GeForce GTX 1070

Fonte: AliceVision, on line (tradução nossa).

6.6 Blender

O Software que foi utilizado para a importação e limpeza do modelo gerado pelo MESHROOM, visto que mesmo depois de gerado o objeto tridimensional, ele precisará ser devidamente tratado, foi o software de modelagem Blender. O programa foi idealizado pela Blender Foundation, uma empresa holandesa independente, de financiamento público. O software tem sido bastante utilizado em diversas áreas que dependem da modelagem 3D, por possuir uma variada gama de recursos e também por ser gratuito.

Os pré-requisitos do software estão apresentados nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 - Pre-requisitos mínimo para o Blender:

Processador	Processador 64-bit com 4 núcleos de processamento
Memória Ram	8GB
Placa de vídeo	Placas de video com no mínimo 2GB de RAM, OPEN GL 4.3
Idade da máquina	menos 10 anos de idade

Fonte: Adaptado do website blender.org,(tradução nossa)

Quadro 5 - Pre-requisitos mínimo para o Blender:

Processador	Processador 64-bit com 8 núcleos de processamento e suporte a SSE2
Memória Ram	32GB
Placa de vídeo	Placas de video com no mínimo 8GB de RAM
Idade da máquina	menos 10 anos de idade

Fonte: Adaptado do website blender.org (tradução nossa)

7 O ESTUDO DE CASO

O estudo de caso passou por duas etapas principais. O Ensaio, para entender a metodologia e possíveis desafios encontrados posteriormente, e o levantamento do pelourinho de Mariana.

7.1 Ensaio

Para investigar a técnica da fotogrametria digital, foi feito um ensaio prévio utilizando uma almofada. Esse ensaio teve como objetivo entender quais seriam as etapas e processos necessários para o levantamento fotográfico do pelourinho.

7.1.1 Levantamento

Ao todo, foram feitas 62 fotografias da almofada nos mais diversos ângulos possíveis. O ensaio foi feito na noite de 15 de dezembro de 2021, utilizando a câmera do celular SAMSUMG Galaxy S20. Para a criação da nuvem de pontos, é fundamental que sempre existam elementos redundantes nas fotografias, para que se possa fazer a equivalência de pixels por parte do programa. O levantamento levou aproximadamente 10 minutos. As imagens produzidas estão na Figura 2.



Figura 2 - Levantamento fotográfico da almofada

7.1.2 Criação da Malha

As 62 imagens, então, foram importadas para o software, que fez a análise de cada uma das fotos. O Meshroom trabalha com um sistema de nodos, que mostram graficamente qual é o fluxo de trabalho de geração da nuvem de pontos, desde a calibração e rastreamento das câmeras, até a texturização do objeto. Cada nodo gera uma pasta dentro do computador, onde está salvo o projeto do MESHROOM.

Esses nodos possuem cores para identificar visualmente como está o processo. O azul significa que o processo está na fila do fluxo de trabalho, laranja significa que está sendo computado, verde significa que o processo foi bem sucedido e vermelho significa que o processo falhou.

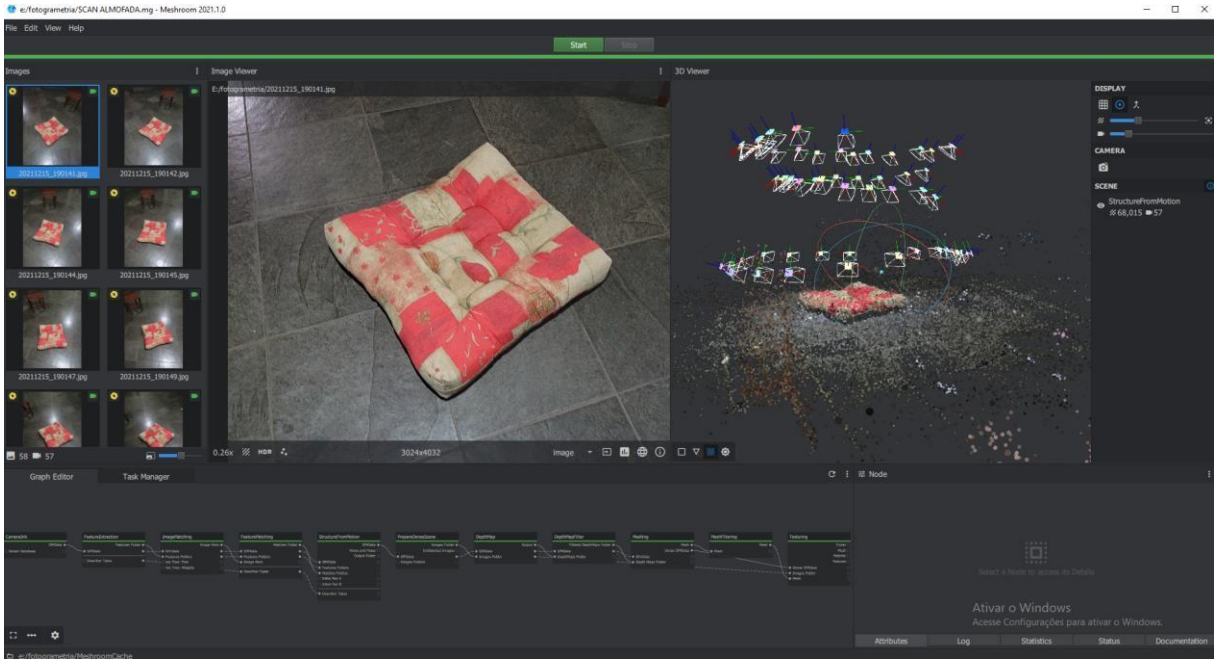


Figura 3 - Captura da tela do ensaio no programa Meshroom

Após a conclusão do cálculo do objeto tridimensional, a malha passou por um processo de decimação. Essa etapa tem como objetivo reduzir o número de polígonos que formam o objeto tridimensional com o objetivo de simplificá-lo e melhorar o seu desempenho. Para isso, no final do processo coloca-se um nodo de decimação.

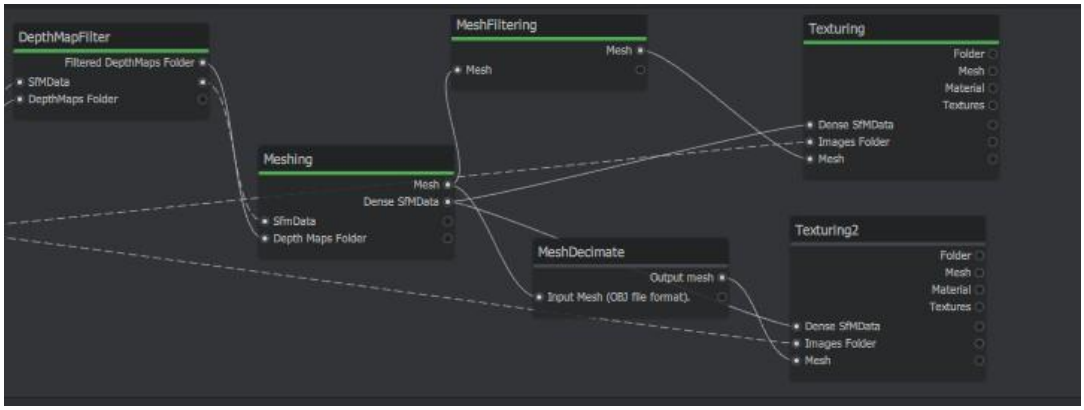


Figura 4 - Decimação da malha 3d

Depois de todo o processo executado, procura-se a pasta com a malha simplificada, a pasta “Texturing”, que possui o objeto 3d simplificado e texturizado, pronto para a importação.

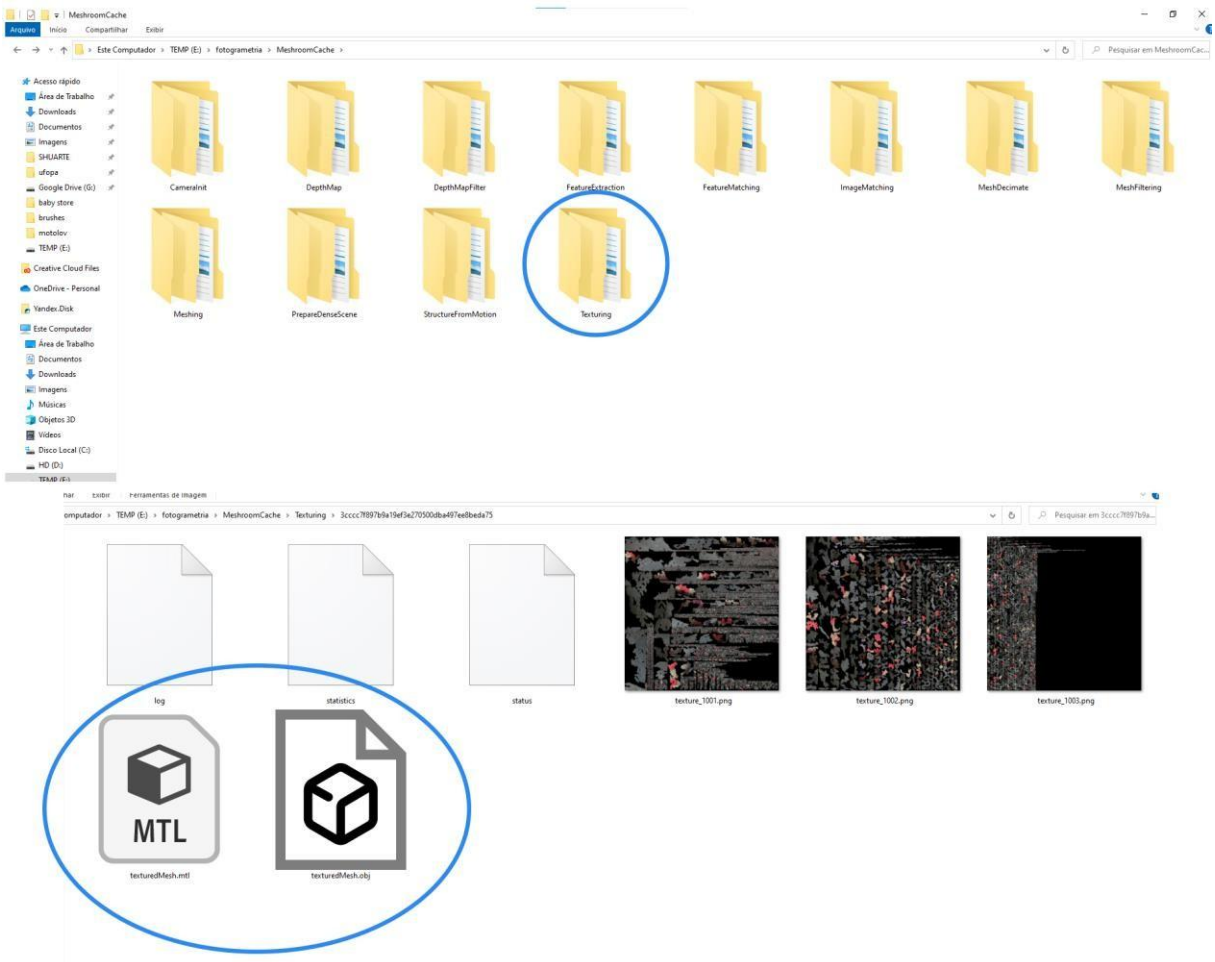


Figura 5 - Caminho para encontrar a malha decimada.

7.1.3 Limpeza no Blender

Com a etapa anterior concluída, a malha precisou ser limpa e texturizada no programa Blender para renderização, visto que o software também gera partes do local em que o objeto de estudo se encontra, que pode ser vista na Figura 6.

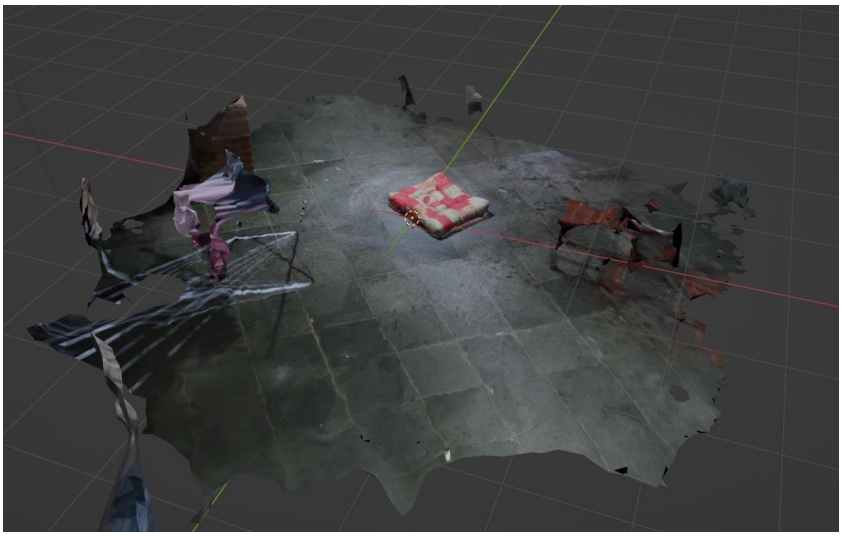


Figura 6 - Fotogrametria da almofada sem limpeza.

Feita a limpeza utilizando as ferramentas de modelagem do Blender,e tirando o ambiente de onde o modelo foi desenvolvido, conseguimos a malha final, que pode ser visto na renderização apresentada na Figura 7.



Figura 7 - Almofada renderizada

7.1.4 Análise dos Resultados

O Computador usado para fazer o cálculo da nuvem de pontos e a renderização possui um processador Intel Xeon E5-2620 V3, Uma placa de vídeo NVidia Geforce GT 1030 de 2Gb de VRAM, 16GB de memória RAM. O processo levou cerca de uma hora. E a pasta de arquivos do MESHROOM geraram arquivos de cachê de aproximadamente 4GB.

Este ensaio trouxe algumas informações importantes a serem levadas em conta na hora do levantamento. Primeiramente, apenas a parte superior da almofada conseguiu ser calculada, visto que a câmera não tinha acesso à parte onde ela estava apoiada no chão.

Áreas de sombra reduziram consideravelmente a qualidade da malha na parte de baixo. As sombras projetadas abaixo da almofada são consequentes da fonte de luz local, como pode ser visto na comparação da Figura 8. Por isso se torna importante que saibamos escolher bem a fonte de luz que irá iluminar o nosso objeto de estudo.

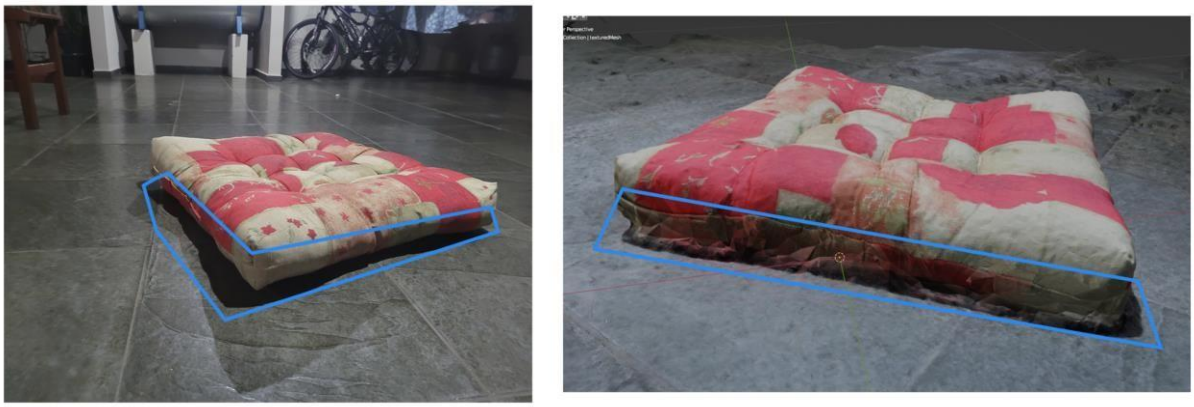


Figura 8 - Dificuldades gerada pelas sombras projetadas. (À esquerda, a fotografia, e a direita, a malha
3d.)

Apesar das limitações do produto final desse ensaio, os resultados apresentados tiveram uma grande riqueza de detalhes e texturas na parte superior da almofada, com um número consideravelmente baixo de fotos.



Figura 9 - Modelo 3d da almofada visto de cima

7.2 Levantamento do Pelourinho

Feito o ensaio para a compreensão do processo de levantamento do bem, passou-se para a obtenção das fotografias necessárias para a criação da malha 3d.

7.2.1 Levantamento

O primeiro levantamento fotográfico do Pelourinho, foi feito na tarde de 16 de abril de 2022. O dia escolhido para o levantamento foi um dia nublado, para que a fonte de luz que iluminaria o objeto de estudo fosse difusa e uniforme. Como visto no ensaio, este é um fator determinante para a qualidade final do objeto.

A câmera utilizada para o levantamento foi a Canon PowerShot HS 520. Para manter a uniformidade das fotos, a câmera foi configurada no modo automático. É importante que se mantenha uma baixa velocidade de obturador da câmera para que a fotografia não apresente borrões,que o foco da câmera seja o mais amplo possível e que de preferência, se use um tripé para manter a estabilidade.

Foram tiradas ao todo 265 fotografias do pelourinho, com a resolução de 4608px por 3456px, visando pegar todos os ângulos possíveis para o levantamento dentro do contexto, variando a distância do fotógrafo do objeto. Entretanto, não foi possível conseguir fotografias da parte de cima do monumento, devido a sua altura, o que viria a se tornar um problema durante este estudo de caso. Outro desafio encontrado durante o levantamento foram o tráfego de pedestres, cachorros e automóveis, que poluiam as fotos tiradas no levantamento.

7.2.2 Geração da Malha e Limpeza

Feito o levantamento fotográfico do Pelourinho, importou-se todas as imagens no software para a identificação dos pixels e criação da nuvem de pontos. O processo levou cerca de 8 horas de processamento por parte da máquina, a mesma utilizada durante os primeiros ensaios. O passo a passo foi o mesmo. O grande diferencial, foi a quantidade de fotografias utilizadas durante o processo.

7.2.3 Análise dos Resultados

Os resultados obtidos pelo processo de fotogrametria digital podem ser observados nas Figuras

:



Figura 10 - Vista frontal modelo 3d do pelourinho



Figura 11 - Vista lateral esquerda do modelo 3d



Figura 12 - Vista posterior do modelo



Figura 13 -Vista lateral direita do modelo 3d



Figura 14 - Vista isométrica do modelo 3d



Figura 15 Vista isométrica 2

A malha final apresentou uma excelente qualidade na parte inferior do pelourinho, devido ao fácil acesso visual para que fosse feito o levantamento fotográfico. Existem problemas em algumas bordas, principalmente as que possuíam curvas sinuosas. O Software conseguiu extrair com grande riqueza de detalhes as texturas da parte inferior.



Figura 16 - Detalhes da base



Figura 17 - Detalhe da base 2



Figura 18 - Concha

A parte superior do Pelourinho não apresentou resultado satisfatório. A dificuldade de se tirar fotos de cima foram determinantes para a falha na construção completa do objeto, visto que partes do pelourinho foram completamente ocultadas e consequentemente não foram computadas.



Figura 19 - Topo do pelourinho



Figura 20 - Topo do pelourinho

Outro aspecto a ser observado, é o globo presente no topo do monumento. Devido a sua complexidade formal e os vazamentos internos do objeto, seria necessário uma quantidade muito maior de fotografias. O mesmo pode ser dito das correntes que seguram a balança. A escala do objeto a ser estudado é determinante para que se consiga uma malha completa, pois esta limita o alcance do fotógrafo que não possua as ferramentas necessárias para este tipo de levantamento.

8 CONCLUSÃO

Com o estudo de caso desenvolvido ao longo deste trabalho, pode-se avaliar o emprego de um software livre na fotogrametria digital. O MESHROOM, apresentou um resultado promissor na criação do modelo. Com planejamento pode-se conseguir resultados satisfatórios e conseguir malhas tridimensionais de altíssima qualidade.

Este trabalho também visou fazer uma investigação acerca dos custos de software e de hardware. Conseguiu elencar alguns dos principais softwares utilizados na fotogrametria digital por DSM. Entretanto, não fez uma pesquisa de mercado quanto a hardware. Fazer um levantamento de peças de computador e estimar um custo médio torna-se inviável e rapidamente obsoleto, visto que existe uma variedade gigantesca de peças no mercado, e cada usuário pode customizar sua própria máquina de acordo com suas condições financeiras. Outro fator é a flutuação do preço dos componentes. Placas de vídeo, por exemplo, se tornam menos acessíveis devido ao seu valor atual no mercado consequente da mineração de criptomoedas. A análise dos requisitos mínimos apresentados na seção 6.5 nos oferece uma orientação de quais peças são necessárias para o emprego da fotogrametria digital e limpeza dos modelos utilizando o Blender.

O Estudo de caso no pelourinho mostra algumas limitações importantes de se ter um baixo orçamento no levantamento fotográfico de um objeto arquitetônico. O fator mais limitante deste trabalho foi a escala do Pelourinho. É fundamental que se faça o levantamento fotográfico da maior quantidade de ângulos do objeto para que se tenha uma malha mais próxima da realidade e, consequentemente, um objeto de maior qualidade.

Dependendo da escala do objeto levantado, pode ser inviável aplicação de tal técnica. Entretanto, são condições que podem ser contornadas, com o aluguel de um drone ou de ferramentas que permitam alcançar os ângulos desejados.

A partir desta pesquisa, podemos investigar se é possível extrair imagens de uma filmagem de um objeto para alimentá-lo no Mushroom ou outros softwares livres. Ou se existem formas mais práticas de conseguirmos esses modelos.

É possível fazer um modelo 3d a partir da técnica da fotogrametria, mesmo utilizando ferramentas de custo mais acessível, e tal técnica pode ser aplicada em vários campos do conhecimento. Artistas digitais, arquitetos, arqueólogos, e outros profissionais podem se valer da fotogrametria digital em seu fluxo de trabalho. As possibilidades são incontáveis, e merecem uma investigação mais aprofundada..

REFERÊNCIAS

ASSEMBLÉIA DO CIAM. **Carta de Atenas**. 1933.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

CONDURU, Roberto. **Pelourinho de Mariana, monumento à barbárie, 40º Colóquio do Comitê Brasileiro de História da Arte**, p. 0–1, 2020.

GROETELAARS, Natalie Johanna. **Um estudo da fotogrametria digital Na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

GROETELAARS, Natalie Johanna; AMORIM, Arivaldo Leão De. **A fotogrametria digital na documentação do patrimônio arquitetônico**. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275891937, 2008.

GROETELAARS, Natalie Johanna; AMORIM, Arivaldo Leão De. **Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos 3D Laser**. Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2012.

ICOMOS. **Carta de Veneza (1964).** Charenton-le-Pont, França: ICOMOS, 1964. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2021.

KÜHL, Beatriz Mugayar. **Cesare brandi e a teoria da restauração**. São Paulo, 2007.

LEMOS, Carlos A. C. **O que é patrimônio histórico**, Edição EBOOK, 2017, Editora Brasiliense. 1981.

MESHROOM. **Meshroom Manual**, 2022. Disponível em: <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/bibtex1/install/requirements/requirements.html>.

REQUIREMENTS. **Blender**, 2022. Disponível em: <https://www.blender.org/download/requirements/>.

SILVA, Adriane Borda Almeida Da; SILVEIRA, Diego Sacco; MEDINA, Alex; VECCHIA, Luisa Félix Dalla. **Pontos (de vista) sobre o patrimônio: entre o escaneamento e a fotogrametria**. Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital, Buenos Aires, Argentina, 2016.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de Cartografia, UFMG, 2000.

YANAGA, Silva Sayuri. **Fotogrametria digital à curta distância na documentação do patrimônio arquitetônico – estudo de caso**. Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.