

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES
CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GABRIELA RIBEIRO NOBRE

**METODOLOGIA PARA DOCUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
DE ESCULTURA EM MADEIRA POLICROMADA
POR MEIO DE RECONSTRUÇÃO DIGITAL E MAPA DE DANOS**

Belo Horizonte

2025

Gabriela Ribeiro Nobre

**Metodologia para documentação científica de escultura em madeira policromada
por meio de reconstrução digital e mapa de danos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis.

Orientadora: Profa. Ma. Luciana Bonadio

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES

COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE
BENS CULTURAIS MÓVEIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Metodologia para documentação científica de escultura em madeira policromada por meio de
reconstrução digital e mapa de danos"

GABRIEL RIBEIRO NOBRE
Discente

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do
Curso de Graduação de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, como requisito
para obtenção de título de bacharel em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis,
aprovado em 31/01/2025 pela banca constituída pelos membros:

Profa. **LUCIANA BONADIO**
Orientadora

Profa. **ALESSANDRA ROSADO**
Examinadora

Belo Horizonte, 31 de janeiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Bonadio, Professora do Magistério Superior**, em 28/04/2025, às 21:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Rosado, Professora do Magistério Superior**, em 06/06/2025, às 20:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3947408** e o código CRC **1A458EF1**.

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Conservação e Restauração, por me oferecer perspectivas e oportunidades, além de possibilitar que eu reestabelecesse a confiança em mim.

A todos os professores, que contribuíram de múltiplas formas para a minha formação.

À professora Luciana Bonadio, minha orientadora, pela paciência e confiança nas minhas habilidades.

Ao professor Willi Gonçalves, que foi meu orientador de iniciação científica por duas vezes, pelas oportunidades e pela confiança no meu trabalho.

Ao professor Alexandre Leão, pelas contribuições no âmbito da documentação científica por imagem e pela colaboração no estúdio de fotografia.

Ao fotógrafo Cláudio Nadalin, que gentilmente me auxiliou no estúdio de fotografia.

Ao Tiago Hardy, pela parceria e iniciação no aprendizado de alguns dos *softwares* utilizados neste trabalho, o que ampliou meu horizonte de pesquisa.

Às orientadoras e aos colegas de estágio, em especial, a professora Alessandra Rosado e as restauradoras Moema Queiroz e Thaís Carvalho, por todo aprendizado e por criarem um ambiente de trabalho repleto de solicitude e prestatividade.

A todos os colegas com quem pude conviver ao longo do curso, pelos bons momentos e pela aprendizagem conjunta.

Aos colegas e autores de relatórios e trabalhos sobre a escultura de São João Marcos, que me auxiliaram com referências para o desenvolvimento desta pesquisa, especialmente Cláudia Costa, pelo encorajamento.

Aos colegas da organização da Feira da Conservação-Restauração, pela parceria fora da sala de aula.

Aos meus amigos de curso – Giovanni, Marcelo, Joana e Keila –, pela parceria e lealdade, que espero levar para a vida.

À Débora, pelo amor e pela compreensão durante todo o curso e desenvolvimento deste trabalho.

Ao cachorrinho Mafalda, melhor companhia e fonte de força para enfrentar os desafios do dia a dia.

Aos meus pais e irmã, por me apoiarem em todos os meus sonhos, me ajudarem a construir planos e me aceitarem como eu sou.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de documentação científica de escultura em madeira policromada por meio de reconstrução digital e de mapa de danos tridimensional, para aplicação prática do conservador-restaurador e do estudante de conservação-restauração. Esta metodologia se baseia na fotogrametria, que pode ser definida como a técnica de se obter informações sobre objetos, edificações e terrenos, a partir de fotografias. Para o desenvolvimento do trabalho, foi escolhido como objeto de estudo a escultura de São João Marcos, do município de Raposos, Minas Gerais. Partindo da importância da documentação científica para o registro de bens culturais, a pesquisa passa pelas técnicas aplicadas para bens imóveis e integrados, desvenda a técnica de fotogrametria e, enfim, aplica esta técnica para bens móveis. Assim, a reconstrução digital, que se trata da geração do modelo tridimensional da escultura, foi feita a partir de fotogrametria, e a criação do mapa de danos, a partir do modelo digital. Para isso, foram utilizados os seguintes *softwares* e aplicativos: *Open Camera*, *RawTherapee*, *Metashape*, *Polycam* e *Blender*. O material digital resultante deste trabalho apresenta diversas utilidades e múltiplas perspectivas para a documentação do processo de conservação-restauração de escultura em madeira policromada.

Palavras-chave: documentação científica; escultura em madeira policromada; fotogrametria; mapa de danos; conservação-restauração.

ABSTRACT

This work aims to develop a scientific documentation methodology for polychrome wooden sculpture through digital reconstruction and 3D map of damage, intended for practical application by both conservator-restorers and conservation-restoration students. This methodology is based on photogrammetry, which can be defined as the technique of obtaining information about objects, buildings, and terrains from photographs. It was chosen as the object of study the sculpture of São João Marcos, from Raposos, Minas Gerais, Brazil. Considering the importance of scientific documentation to record the cultural heritage, the research reviews techniques applied to built and integrated heritage, examines photogrammetry in detail, and applies this technique to movable heritage. The digital reconstruction, which consists of generating a three-dimensional model of the sculpture, was made by using photogrammetry, and the map of damage was created based on the digital model. The following softwares and applications were used for this purpose: *Open Camera*, *RawTherapee*, *Metashape*, *Polycam*, and *Blender*. The resulting digital material offers diverse applications and multiple perspectives for the documentation of conservation-restoration processes of polychrome wooden sculpture.

Keywords: scientific documentation; polychrome wooden sculpture; photogrammetry; map of damage; conservation-restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeiro estudo de caso: mapa de danos	23
Figura 2 - Segundo estudo de caso: mapa de danos	24
Figura 3 - Terceiro estudo de caso: mapa de danos.....	25
Figura 4 - Escultura de São João Marcos (parte anterior à esquerda e posterior, à direita)	26
Figura 5 - Etapas da metodologia com <i>softwares/aplicativos</i> utilizados.....	28
Figura 6 - Página para <i>download</i> do aplicativo <i>Open Camera</i>	29
Figura 7 - Manual do fabricante dos iluminadores.....	31
Figura 8 - Iluminação utilizada nos levantamentos fotográficos.....	32
Figura 9 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação	32
Figura 10 - Primeiro levantamento fotográfico: planta de layout do estúdio.....	33
Figura 11 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação	34
Figura 12 - Primeiro levantamento fotográfico: sombra projetada pela escultura sobre si mesma	34
Figura 13 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação	35
Figura 14 - Método recomendado para captura de fotografias: 50% de sobreposição.....	36
Figura 15 - Primeiro levantamento fotográfico: movimentação da câmera em torno da escultura	37
Figura 16 - Segundo levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação	38
Figura 17 - Segundo levantamento fotográfico: planta de layout do estúdio.....	38
Figura 18 - Segundo levantamento fotográfico: cartela de referência de cor de fabricante chinês	39
Figura 19 - Segundo levantamento fotográfico: uso de cartela de referência de cor	40
Figura 20 - Interface do <i>RawTherapee</i> : tratamento das imagens	41
Figura 21 - Comparação das imagens antes (à esquerda) e depois (à direita) da edição.....	42
Figura 22 - Página para <i>download</i> do <i>software Metashape</i>	43
Figura 23 - Interface do <i>Metashape</i> : qualidade das imagens	45
Figura 24 - Interface do <i>Metashape</i> : qualidade das imagens	45
Figura 25 - Interface do <i>Metashape</i> : qualidade das imagens (seleção das imagens)	46
Figura 26 - Interface do <i>Metashape</i> : qualidade das imagens (imagem de menor qualidade) ..	46
Figura 27 - Interface do <i>Metashape</i> : qualidade das imagens (imagem de maior qualidade) ...	47
Figura 28 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : importação das fotografias.....	48

Figura 29 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : alinhamento das fotografias	48
Figura 30 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : alinhamento das fotografias (seleção da precisão)	49
Figura 31 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção do modelo tridimensional	49
Figura 32 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção do modelo tridimensional (seleção da precisão)	50
Figura 33 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção da textura	50
Figura 34 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção da textura (seleção da precisão).....	51
Figura 35 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção da nuvem de pontos	51
Figura 36 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : construção da nuvem de pontos (seleção da precisão)	52
Figura 37 - Fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : exportação do modelo	52
Figura 38 - Evolução do processamento do modelo ao longo do fluxo de trabalho do <i>Metashape</i> : nuvem de pontos esparsa, nuvem de pontos densa, malha, volume, modelo sombreado, modelo texturizado	53
Figura 39 - Interface do <i>Metashape</i> : escala do modelo (marcação do primeiro ponto).....	54
Figura 40 - Interface do <i>Metashape</i> : escala do modelo (localização do primeiro ponto)	54
Figura 41 - Interface do <i>Metashape</i> : escala do modelo (localização do segundo ponto).....	55
Figura 42 - Interface do <i>Metashape</i> : escala do modelo (seleção de ambos os pontos).....	55
Figura 43 - Interface do <i>Metashape</i> : escala do modelo (definição da distância entre os dois pontos).....	56
Figura 44 - Exemplos de pontos de controle utilizados em fotogrametria.....	59
Figura 45 - Interface do <i>Metashape</i> : deformações volumétricas do modelo 3D (superfície) ..	60
Figura 46 - Interface do <i>Metashape</i> : deformações volumétricas do modelo 3D (mitra)	60
Figura 47 - Interface do <i>Metashape</i> : refinamento da nuvem de pontos (seleção de área)	61
Figura 48 - Interface do <i>Metashape</i> : refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio) .	61
Figura 49 - Interface do <i>Metashape</i> : refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio) .	62
Figura 50 - Interface do <i>Metashape</i> : refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio) .	62
Figura 51 - Interface do <i>Metashape</i> : refinamento da nuvem de pontos (resultado).....	63
Figura 52 - Comparação de trechos da nuvem de pontos antes (à esquerda) e depois (à direita) da limpeza parcial.....	63
Figura 53 - Fluxo de trabalho do <i>Meshroom</i> : adição das fotografias.....	64
Figura 54 - Fluxo de trabalho do <i>Meshroom</i> : primeira fase do processamento	65

Figura 55 - Fluxo de trabalho do <i>Meshroom</i> : segunda fase do processamento.....	65
Figura 56 - Fluxo de trabalho do <i>Meshroom</i> : terceira fase do processamento.....	66
Figura 57 - Fluxo de trabalho do <i>Meshroom</i> : erro no processamento.....	66
Figura 58 - Página para <i>download</i> do aplicativo <i>Polycam</i>	67
Figura 59 - Interface do <i>Polycam</i> : processamento das imagens.....	68
Figura 60 - Interface do <i>Polycam</i> : modelo 3D (detalhamento da malha)	68
Figura 61 - Interface do <i>Polycam</i> : perspectivas do modelo 3D	69
Figura 62 - Ilustração dos três momentos, da esquerda para a direita: policromia, repolicromia e repintura.....	70
Figura 63 - Escultura de São João Marcos: áreas de perda de suporte.....	72
Figura 64 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : importação do modelo	73
Figura 65 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : posicionamento do modelo na origem.....	74
Figura 66 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : movimentação do modelo.....	74
Figura 67 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : rotação do modelo.....	75
Figura 68 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da textura (seleção do modelo).....	76
Figura 69 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da textura (limpeza e mesclagem de vértices)	76
Figura 70 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da textura (limpeza e mesclagem de vértices)	77
Figura 71 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da textura (suavização de sombras)....	77
Figura 72 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da textura (resultado).....	78
Figura 73 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da deformação volumétrica (seleção do modo).....	78
Figura 74 - Fluxo de trabalho do <i>Blender</i> : suavização da deformação volumétrica (seleção da ferramenta)	79
Figura 75 - Deformação volumétrica antes (em cima) e depois (embaixo) da suavização	79
Figura 76 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base).....	80
Figura 77 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base).....	81
Figura 78 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base).....	81

Figura 79 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de perda de suporte consolidada (parte posterior inferior da capa).....	82
Figura 80 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de perda de suporte consolidada (parte posterior da base).....	82
Figura 81 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (extremidade inferior do lado direito da estola)	83
Figura 82 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (extremidade inferior do lado direito da estola)	83
Figura 83 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (dedos da mão esquerda)	84
Figura 84 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (lateral direita da capa)	84
Figura 85 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (lateral esquerda da capa) ...	85
Figura 86 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : área de suporte ausente (lateral esquerda da capa) ...	85
Figura 87 - Mapa de danos no <i>Blender</i> : exportação do modelo com mapa de danos	86
Figura 88 - Mapa de danos tridimensional da escultura de São João Marcos (vistas anterior e lateral esquerda).....	87
Figura 89 - Mapa de danos tridimensional da escultura de São João Marcos (vistas posterior e lateral direita).....	88
Figura 90 - Interface do aplicativo <i>Polycam</i> : mapa de danos disponibilizado online	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre os dados de entrada (fotografias).....	57
Tabela 2 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do alinhamento de fotos	57
Tabela 3 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento da nuvem.....	57
Tabela 4 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento da malha.....	58
Tabela 5 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento do modelo	58
Tabela 6 - Comparativo entre os dados de saída (resolução do modelo)	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCRBCM - Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis

CECOR - Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais

CIDOC - *International Committee for Documentation* (Comitê Internacional de Documentação)

CIPA - *Comité International de Photogrammétrie Architecturale* (Comitê Internacional de Fotogrametria Arquitetônica, atualmente, Comitê Internacional de Documentação do Patrimônio)

EBA - Escola de Belas Artes

ICCROM - *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property* (Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauo de Bens Culturais)

ICOM - *International Council of Museums* (Conselho Internacional de Museus)

ICOMOS - *International Council of Monuments and Sites* (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios)

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

LiDAR - *Light Detection and Ranging* (Sensor de detecção e alcance de luz)

SPHAN - Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1. DOCUMENTAÇÃO CIENTÍFICA COMO RECURSO PARA CONSERVAÇÃO- RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS.....	11
1.1 Documentação científica aplicada a bens culturais	11
1.2 Métodos de documentação científica	14
1.3 Fotogrametria aplicada a terrenos, a edifícios e a objetos	18
2. FOTOGRAMETRIA APLICADA A ESCULTURAS.....	21
2.1 Fotogrametria aplicada a esculturas em madeira policromada.....	21
2.2 Escolha e caracterização do objeto de estudo.....	25
3. MODELO TRIDIMENSIONAL E MAPA DE DANOS	28
3.1 Metodologia de levantamento e tratamento dos dados.....	28
3.2 Metodologia de elaboração do modelo tridimensional.....	42
3.3 Metodologia de elaboração do mapa de danos	69
3.4 Material digital produzido	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS	92

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de documentação científica de escultura em madeira policromada por meio de reconstrução digital e de mapa de danos tridimensional, para aplicação prática do conservador-restaurador e do estudante de conservação-restauração. Esta metodologia se baseia na fotogrametria, que pode ser definida como a técnica de se obter informações – como formas e dimensões – sobre objetos, edificações e terrenos, a partir de fotografias.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi escolhido como objeto de estudo a escultura de São João Marcos, pertencente à Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição, do município de Raposos, Minas Gerais. Assim, a reconstrução digital, que se trata da geração do modelo tridimensional da escultura, foi feita a partir de fotogrametria, e a criação do mapa de danos, a partir do modelo digital.

Partindo da importância da documentação científica para o registro de bens culturais, a pesquisa passa pelas técnicas aplicadas para bens imóveis e integrados, desvenda a técnica de fotogrametria e, enfim, aplica esta técnica para bens móveis. Desta forma, o trabalho se organiza em três capítulos, além da introdução e das considerações finais.

O primeiro capítulo, intitulado “Documentação científica como recurso para conservação-restauração de bens culturais” elabora sobre o surgimento e o desenvolvimento da Ciência da Conservação, um campo transdisciplinar que integra conhecimentos de conservação-restauração, ciências naturais e humanas. Aborda, também, a consolidação da documentação científica do patrimônio cultural como essencial para a sua preservação, e a atuação de comitês internacionais, que estabeleceram normas, diretrizes e tecnologias para catalogação e gestão de acervos, promovendo avanços no campo.

Ainda no primeiro capítulo, destaca-se a importância das técnicas de documentação científica digital na preservação e no estudo de bens culturais, explorando como estas técnicas – em especial, a fotogrametria – possibilitam o registro detalhado e preciso de informações. A documentação, através de modelos tridimensionais e de mapas de danos, é apresentada como ferramenta importante para identificação e monitoramento de processos de degradação, mas também como forma de compartilhamento e divulgação de informações relativas aos bens culturais, potencializada por tecnologias como realidade virtual e impressão 3D.

Apresentando a evolução histórica e técnica da fotogrametria, o texto enfatiza que os avanços tecnológicos na fotografia e na computação gráfica revolucionaram seu uso na documentação de edificações, bens culturais e objetos patrimoniais. Ressaltando, assim, como a fotogrametria passou de um método manual e analógico para um processo automatizado e digital, tornando-se uma ferramenta fundamental para estudo e preservação do patrimônio cultural.

No segundo capítulo, denominado "Fotogrametria aplicada a esculturas", relata-se sobre a escassez de referências científicas relativas à aplicação de técnicas de fotogrametria na documentação de bens móveis, especialmente no que se refere a esculturas em madeira policromada. Como ferramentas valiosas para análise e reflexão em contextos reais, três estudos de caso no âmbito das esculturas – de materialidades diversas – são descritos, assim como as metodologias aplicadas nestes trabalhos.

Observa-se a necessidade de elaborar e descrever uma metodologia específica para preencher esta lacuna, o que deve ser feito a partir de um objeto de estudo. Assim, é apresentada a escultura de São João Marcos, uma obra em madeira policromada com rica documentação e longo histórico de intervenções, destacando sua complexidade técnica e as análises prévias que fundamentam o trabalho.

O terceiro e último capítulo, intitulado "Modelo tridimensional e mapa de danos", descreve a metodologia do levantamento fotográfico ao modelo tridimensional e ao mapa de danos, partindo da descrição das configurações dos equipamentos e dos *softwares* utilizados, com seus fluxos de trabalho específicos. O texto se encerra apresentando, enfim, o material digital produzido, que foi compartilhado na *internet* e se encontra acessível às instituições envolvidas no restauro da escultura de São João Marcos.

1. DOCUMENTAÇÃO CIENTÍFICA COMO RECURSO PARA CONSERVAÇÃO-RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS

1.1 Documentação científica aplicada a bens culturais

A partir do momento em que análises físico-químicas passaram a ser utilizadas no estudo de obras de arte – o que ocorreu especialmente após a segunda guerra mundial –, foram desenvolvidos estudos que se organizaram posteriormente sob os nomes de Conservação Preventiva e História da Arte Técnica, possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias

e a adequação de novas terminologias, partes constituintes do que chamamos de Ciência da Conservação.

A Ciência da Conservação, caracterizada como um campo de estudo recente e transdisciplinar, surgiu a partir de paradigmas, reflexões críticas e processos históricos (Gonçalves, 2013). Ela integra a conservação e restauração com o domínio da ciência, ampliando a abordagem tradicional destas práticas.

Diante do fato de que os elementos que degradam a matéria são diversos e atuam concomitantemente, também de origens diversas são os danos aos bens culturais, que passaram a exigir a ação de profissionais que devem compreender a obra a partir de uma perspectiva histórica e artística, além de serem capazes de desenvolver e aplicar métodos de controle e prevenção de danos (Froner e Rosado, 2008), propiciando o surgimento do campo do saber da Conservação Preventiva.

A Conservação Preventiva surgiu, solidamente, como campo de trabalho e pesquisa científica, nos Estados Unidos, na década de 80 estabelecendo-se como atividade responsável por todas as ações tomadas para retardar a deterioração e prevenir danos aos bens culturais por meio da provisão de adequadas condições ambientais e humanas (Caldeira, 2006, p. 99).

Pesquisas sobre técnicas históricas utilizadas pelos artistas, realizadas por estudiosos das Ciências Naturais, se tornaram mais independentes das análises estilísticas, realizadas pelos estudiosos das Ciências Humanas (Rosado, 2014), propiciando, por sua vez, o surgimento da História da Arte Técnica.

Campo do conhecimento extremamente relevante no diálogo entre as metodologias de análise das ciências da conservação, exatas e humanas, a História da Arte Técnica se constituiu como uma diversidade de novas técnicas de análise das obras de arte com ampla lista de aplicações práticas, baseadas em ciência e voltadas tanto para a Conservação-Restauração, quanto para a pesquisa histórico-artística.

Neste contexto, a Ciência do Patrimônio – que pode ser descrita como o domínio de pesquisa interdisciplinar dedicado ao estudo científico do patrimônio cultural e natural (ICCROM, s. d.) – se apresenta como campo de conhecimento ampliado e coloca como um dos maiores desafios enfrentados pelos pesquisadores e profissionais da Conservação-Restauração questões relacionadas à documentação científica do Patrimônio Cultural, que desempenha papel fundamental nos protocolos de preservação.

A documentação científica envolve o registro completo e preciso das informações necessárias para o planejamento e a execução da conservação, abrangendo as seguintes etapas: pesquisa, registro, avaliação, interpretação, correlação, arquivamento, gerenciamento e

disseminação de informações (Hassani, 2015). Documentar é também indispensável para referências futuras. Neste contexto, são atuantes os comitês internacionais, como o Conselho Internacional de Museus (*International Council of Museums – ICOM*) e o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (*International Council of Monuments and Sites – ICOMOS*).

Em 1950, o ICOM foi responsável pela fundação do Comitê Internacional de Documentação (CIDOC), com o intuito de tratar de questões relacionadas à documentação de coleções museológicas. O fórum nasceu da necessidade de se estabelecer padrões de documentação, visto que museus ao redor do mundo enfrentavam dificuldades para organizar e acessar informações sobre suas coleções, cuja ampliação demandava sistemas mais eficientes de catalogação. Atualmente, o CIDOC é responsável pela elaboração de normas e diretrizes internacionais para documentação de acervos e gestão de informações, visando facilitar o intercâmbio de dados entre museus e instituições de pesquisa.

Dentre as principais contribuições do CIDOC, destaca-se a criação do CIDOC CRM (Modelo de Referência Conceitual), padrão internacional (ISO 21127:2014) e um dos mais amplamente reconhecidos para documentação de coleções e intercâmbio controlado de informações sobre patrimônio cultural. Além disso, promove cursos de formação e capacitação para profissionais de museus em todo o mundo, e conferências internacionais, que reúnem especialistas para discutir avanços e desafios da documentação museológica, incentivando o desenvolvimento de pesquisas e de novas tecnologias.

Já em 1968, o ICOMOS fundou o Comitê Internacional de Fotogrametria Arquitetônica (CIPA) – atualmente denominado como Comitê Internacional de Documentação do Patrimônio –, dedicado à promoção de normas e práticas recomendadas para a documentação gráfica de monumentos e sítios arqueológicos em prol da preservação, pesquisa e divulgação do patrimônio cultural a partir do uso de tecnologias avançadas. No mesmo ano, foi fundada a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS). Ambos os órgãos evoluíram juntamente com as práticas de documentação do patrimônio cultural e são promotores de eventos técnico-científicos, reunindo profissionais de todo o mundo, com o intuito de fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias.

1.2 Métodos de documentação científica

As técnicas de documentação científica aplicadas ao patrimônio podem ser classificadas em três categorias: técnicas baseadas em imagem, técnicas não baseadas em imagem e técnicas mistas (Hassani, 2015).

Dentre as técnicas baseadas em imagem, destacam-se a fotogrametria (a partir de fotografias panorâmicas, de fotografias à curta distância ou de veículos aéreos não-tripulados¹) e a fotografia em infravermelho; dentre as técnicas não baseadas em imagem, há o levantamento terrestre tradicional (manual ou com auxílio de teodolitos²) e o escaneamento a *laser* (levantamento terrestre a *laser* ou com LiDAR³); e, dentre os métodos mistos, há o escaneamento fotográfico e a *laser* combinados, além das luzes estruturadas.

Para as técnicas baseadas em imagens, são as fotografias a base para a aquisição de dados do objeto em estudo, permitindo que suas coordenadas possam ser acessadas após a fase de processamento (Hassani, 2015). Portanto, a produção e o arquivamento de dados são essenciais para futuros usos na preservação dos bens culturais. Neste contexto, encontra-se a fotogrametria à curta distância, técnica que se destaca pela facilidade de uso e baixo custo, se comparada com as técnicas de escaneamento a *laser*, permitindo a extração de informações tridimensionais a partir de fotografias em duas dimensões.

Etimologicamente, a palavra “fotogrametria” originou-se da combinação de três raízes gregas: “*photós*” (luz), “*gramma*” (desenhado ou escrito) e “*metron*” (medir), significando objetivamente “medir graficamente usando luz” (Tommaselli, 2009). Ao apurar o conceito, pode-se definir fotogrametria como uma técnica que permite extrair de fotografias as formas,

¹ Veículos aéreos não tripulados (VANTs) operam sem um piloto a bordo e são popularmente conhecidos como “drones”. Tais equipamentos podem ser classificados de acordo com peso, tamanho, resistência e altitude de voo, e são sistemas compostos por material leve em que é acoplada uma câmera digital equipada com GNSS/INSS – sistema de navegação integrado, que combina o Sistema Global de Navegação por Satélite com o Sistema de Navegação Inercial. Estes sistemas, desenvolvidos inicialmente com propósito militar, são constituídos por uma constelação de satélites e possibilitam a determinação de localização e posicionamento de um receptor em qualquer lugar do planeta. O uso dos drones foi expandido e passou a atender à fotogrametria aérea, provando-se útil na documentação de patrimônio edificado e de sítios arqueológicos.

² Teodolitos são instrumentos ópticos de precisão utilizados para levantamento topográfico. Tal equipamento é composto por um sistema de eixos, círculos graduados, luneta de visada e níveis de bolha, sendo capaz de determinar coordenadas, gerando ângulos e distâncias entre pontos.

³ LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é a sigla para o termo “detecção e varredura por luz”, tecnologia baseada na emissão de feixes de *laser* para medir distâncias em alta velocidade. Este sistema é capaz de percorrer uma região a partir da emissão de feixes de *laser* e, a partir da integração de faixas escaneadas, produzir uma nuvem de pontos. É composto por: *Differential Global Positioning System* (DGPS), cuja função é identificar as coordenadas da localização do pulso de *laser*; *Inertial Measurement Unit*, com a função de determinar o ângulo de transmissão do *laser*; e *Laser Scanning System*, para medição da distância entre o ponto de transmissão do pulso de *laser* e a superfície terrestre (Hassani, 2015).

as dimensões e as posições dos objetos (Groetelaars, 2004), possibilitando a interpretação e a modelagem destes objetos. O termo foi criado em 1855, pelo alemão Otto Kersten (1839-1900), e se destacou na literatura internacional em 1893, em decorrência do trabalho de Albrecht Meydenbauer (1834-1921), que fez uso da técnica para registrar edificações de alto valor arquitetônico na Alemanha (Silva, 2015). Anteriormente, o método era conhecido por nomes como “econometria”, “metrofotografia” e “fototopografia”.

Como técnica de renderização⁴ baseada em imagem (em oposição à renderização baseada em modelo), a fotogrametria à curta distância faz uso de fotografias como principal fonte de informação. O processo se baseia no cálculo de perspectivas, luzes, texturas e geometrias implícitas a partir de fotografias capturadas do mundo real, proporcionando, portanto, maior realismo visual (quando as imagens originais apresentam boa qualidade) e menor necessidade de modelagem geométrica detalhada. Embora esteja também sujeito a gerar massas ou deformações volumétricas em ângulos indevidamente iluminados ou não contidos nas fotografias.

Para se aplicar a fotogrametria à curta distância, são realizadas várias fotos do objeto em diferentes ângulos, com áreas de sobreposição entre as imagens, de forma a possibilitar a reconstrução mais precisa em três dimensões (Soster, Gonçalves e Borges, 2021). A técnica pode ser aplicada com auxílio de câmera digital ou câmera de aparelho celular, e pode gerar fotos retificadas – isto é, cujas distorções foram geometricamente corrigidas, passando a representar em escala o mundo real – e modelos tridimensionais foto-realísticos, permitindo, assim, o registro de detalhes em alta resolução e com precisão milimétrica.

O objetivo em se aproximar do objeto é tornar o processo de coleta e processamento de dados mais simples e rápido, além do mais, isso contribui para a precisão da documentação de cor e textura, permitindo o registro sem exigir o contato com o objeto. Neste sentido, a técnica é ideal para a criação de modelos tridimensionais de bens culturais, apresentando múltiplas aplicações na documentação científica, especialmente de bens móveis tridimensionais.

As imagens adquiridas através de câmeras fotográficas (sejam elas de mão, integradas a um celular ou acopladas a um drone) são processadas em *softwares* especializados, como

⁴ O termo "renderização" é um estrangeirismo derivado do verbo em inglês "*to render*", cujo significado literal é remover algo de um lugar ou mover algo de um lugar para outro. Porém, com a adoção do termo pela informática, seu significado passou a corresponder ao processo de computação gráfica que consiste na interpretação de gráficos de objetos combinados com iluminação para, com isso, se criar uma imagem finalizada.

*Metashape*⁵, *Meshroom*⁶ e *PhotoModeler*⁷, que realizam as medições do objeto fotografado, a partir do alinhamento das imagens, da identificação e do posicionamento de cada uma delas. Assim, gera-se uma "nuvem de pontos" inicial, denominada “nuvem de pontos esparsa”, em que cada ponto representa uma imagem. O algoritmo age no refinamento desta nuvem inicial adensando os pontos, o que permite a construção de uma malha tridimensional detalhada construída a partir da triangulação destes pontos. Em seguida, a textura do objeto é simulada com base em fragmentos das imagens originais, que são aplicados sobre a malha tridimensional para, enfim, gerar um modelo com cores que simula a volumetria e as características da superfície do objeto. Desta forma, a fotogrametria cria uma representação digital realista, que pode ser usada para estudos e preservação de bens culturais (Soster, Gonçalves e Borges, 2021).

É importante destacar também a existência de *softwares* como *MeshLab*⁸, cuja função se baseia na edição da malha tridimensional (análise, medição de área e volume, reparação, redução de polígonos, simplificação de superfícies e refinamento de geometrias); e de *softwares* como *MeshMixer*⁹, cuja aplicação volta-se para a edição de modelos 3D voltados para a prototipagem (reparo e otimização de malhas, e criação de suportes para impressão).

A fotogrametria digital fornece uma abordagem precisa e flexível, adequada para diferentes escalas, e permite derivar informações métricas e confiáveis a partir de um conjunto de imagens, tendo seu uso formalmente recomendado pelo ICOMOS (Remondino e El-Hakim, 2006). Além disso, é um recurso muito útil para a divulgação de conhecimento científico, por potencializar o acesso aos bens culturais a partir do compartilhamento dos dados gerados e da disponibilização dos modelos tridimensionais (Guedes, 2016), estabelecendo “novas formas de visualização, manipulação e interação com os modelos e registros documentais” (Canuto, Moura e Salgado, 2016, p. 256). Exposição em realidade virtual e prototipagem – ou impressão 3D – são exemplos de possibilidades oferecidas pela fotogrametria.

Rotinas de documentação são muito úteis como auxiliares na compreensão histórica dos bens culturais (móveis, imóveis, edificados, conjuntos de edifícios, paisagens culturais) e, por

⁵ *Metashape* (anteriormente *Agisoft PhotoScan*) é um *software* amplamente utilizado para fotogrametria digital. Projetado pela *Agisoft*, com o objetivo de processar imagens digitais e gerar reconstruções tridimensionais com alta precisão de objetos, edificações ou terrenos.

⁶ *Meshroom* é um *software* de código aberto utilizado para fotogrametria digital. Projetado pela *AliceVision*, organização que visa democratizar o acesso a tecnologias de digitalização 3D a partir de fotografias.

⁷ *PhotoModeler* é um *software* usado para a criação de modelos 3D a partir de fotografias, portanto, do emprego de fotogrametria, sendo amplamente utilizado em projetos industriais de alta precisão.

⁸ *MeshLab* é um *software* de código aberto amplamente utilizado para processar e editar malhas 3D. Ideal para grandes conjuntos de dados geométricos, como nuvens de pontos e superfícies complexas.

⁹ *MeshMixer* é um *software* de código aberto utilizado para manipulação e preparação de modelos 3D, especialmente quando voltados para impressão. Projetado pela *Autodesk*, apresenta interface intuitiva.

permitirem conhecer e investigar as suas características físicas, devem preceder qualquer intervenção de restauração, conservação preventiva ou curativa, além de ações de gerenciamento de riscos (Álvares, 2009).

Os registros de danos associados aos agentes de deterioração e aos mecanismos de degradação são realizados por meio da elaboração de mapas de danos, ferramenta cujo objetivo é apresentar sintética e precisamente informações identificadas nos bens culturais, de forma a basear a proposição de ações de intervenção, portanto, um dos mais importantes documentos de avaliação do estado de conservação do patrimônio.

Os mapas são documentos gráficos que sintetizam as informações sobre o estado de conservação do bem cultural, representando as alterações sofridas por seus materiais ao longo do tempo. E sua elaboração deve se basear em um método normativo, de forma a padronizar a forma como os danos são documentados e monitorados, com o objetivo de criar um padrão gráfico que possa ser utilizado em futuras documentações (Tirello e Corrêa, 2012).

Contudo, antes de elaborar sobre mapas de danos, é importante definir o conceito de “dano”. No contexto da conservação-restauração, o termo refere-se a qualquer alteração que afeta a integridade física, estética ou simbólica de um bem cultural. É algo identificável – como fissura, rachadura, mancha e perda de material – e apresenta causas diretas ou específicas decorrentes de fatores naturais, ambientais ou humanos – como queda, guarda e manuseio inadequados.

Neste sentido, “dano” se difere de “degradação”, já que o primeiro se trata de alteração ou lesão que gera deterioração, perda de funcionalidade e redução de valor do bem cultural. Enquanto a degradação envolve mudanças sutis, progressivas e cumulativas, que nem sempre são perceptíveis e que afetam a integridade e as propriedades originais do bem cultural ao longo do tempo. Pode ser causada por diversos fatores, como: exposição prolongada à iluminação natural ou à poluição do ar, interação química e infestação biológica. Em tese, enquanto os danos são geralmente resultantes de eventos ou ações específicas, a degradação é um processo lento e gradual, resultado de fatores cumulativos e que envolve deterioração progressiva.

O mapa de danos, por sua vez, pode ser definido como a representação gráfico-fotográfica em que são ilustradas e discriminadas as manifestações de danos observadas em bens culturais (Tinoco, 2009). É um documento que sintetiza o resultado das investigações sobre as alterações observadas nos materiais e nas técnicas componentes do objeto ou da edificação.

Entretanto, não se deve confundir os termos “mapa de danos” e “mapeamento de danos”. O primeiro refere-se a um documento ou um conjunto de documentos gráficos e fotográficos que ilustram a realidade de um bem cultural em determinada data ou período de tempo; e o segundo, aos processos de investigação, de levantamento e de produção de dados para elaboração do mapa (Tinoco, 2009).

Uma das etapas iniciais na documentação dos danos é a criação das Fichas de Identificação de Danos. Nestas fichas, são registradas informações essenciais sobre o estado de conservação do bem cultural, de forma que cada dano identificado receba um código e uma identificação sequencial (A, B, C, etc.), relacionando uma área afetada a uma explicação detalhada sobre o tipo e grau de deterioração, além de possíveis causas.

A documentação dos danos é essencial para a compreensão de danos e deteriorações observados em bens culturais e para orientação de projetos de restauração. Entretanto, há uma lacuna significativa nas diretrizes oferecidas pelos órgãos de preservação no Brasil. Embora reconheçam a importância dos diagnósticos, as recomendações são frequentemente genéricas e carecem de um modelo claro de como proceder na elaboração dos mapas (Tirello e Corrêa, 2012).

Por permitirem um estudo detalhado de muitas informações do bem cultural a partir do registro preciso de danos, agentes e mecanismos de degradação, são métodos de análise científica: técnicas de documentação por meio de reconstrução digital (geração de modelos tridimensionais a partir de fotogrametria ou escaneamento), realidade virtual e prototipagem. As técnicas citadas podem ser também associadas aos chamados “exames especiais” que, através do uso de radiações multiespectrais, como ultravioleta e infravermelho, ou comprimentos de onda específicos de luz visível, são capazes obter ainda mais informações sobre o bem em estudo.

Nos últimos anos, a documentação digital do patrimônio cultural tem se expandido e se diversificado, envolvendo a criação de bases e bancos de dados multimídia, facilitando o intercâmbio científico entre pesquisadores da área.

1.3 Fotogrametria aplicada a terrenos, a edifícios e a objetos

As invenções que conduziram ao presente estado da arte da fotogrametria antecedem a própria fotografia (Tommaselli, 2009). Contudo, obviamente, a prática fotogramétrica só se

desenvolveu após a invenção da fotografia, o que se deu na década de 1830, com Louis Daguerre (1787-1851) e Hercule Florence (1804-1879).

Os primeiros experimentos com fotogrametria para mapeamento topográfico foram realizados em 1849, pelo francês Aimé Laussedat (1819-1907), que fez uso de balões para capturar imagens da cidade. Contudo, devido a dificuldades com fotos aéreas, seu trabalho se voltou para a fotogrametria terrestre. Já em 1909, o alemão Carl Pulfrich (1858-1927) introduziu experimentos com pares estereoscópicos¹⁰, estabelecendo bases instrumentais utilizadas até os dias de hoje e proporcionando o surgimento da estereofotogrametria¹¹.

Em 1913, foi feito o primeiro uso de fotografias aéreas para mapeamento, graças à invenção do avião, que impulsionou o desenvolvimento da fotogrametria. Durante a Primeira Guerra Mundial, aerofotografias foram amplamente empregadas em reconhecimento de territórios; entre as guerras mundiais, a aerofotogrametria consolidou-se na produção de mapas; e, na Segunda Guerra Mundial, técnicas fotogramétricas e de fotointerpretação foram intensivamente usadas com intuito de reconhecimento de territórios e inteligência militar (Tommaselli, 2009).

Quanto ao equipamento, é importante destacar que, até 1915, todas as câmeras fotogramétricas analógicas para fotografias aéreas eram manuais, até que surgiu a primeira câmera aérea automática, que foi utilizada já na Primeira Guerra Mundial (Silva, 2015).

O advento do computador trouxe avanços significativos para a fotogrametria. Inicialmente, na década de 1950, foram utilizados para realizar cálculos de aerotriangulação, porém, a partir de meados da década de 1970, os equipamentos analógicos passaram a contar com dispositivos de digitalização de coordenadas conectados a computadores. Assim, iniciou-se a chamada “fotogrametria assistida por computador” (Tommaselli, 2009).

¹⁰ Pares estereoscópicos: duas imagens capturadas de uma mesma localização geográfica, porém a partir de diferentes perspectivas, de forma a aumentar o grau de acurácia quanto à definição de profundidade e distância entre objetos.

¹¹ Estereofotogrametria é uma técnica que exige pessoal qualificado e equipamentos sofisticados, visto que atende a trabalhos que demandam alta precisão em mapeamento. Essa técnica permite identificar pontos com maior clareza e medir as coordenadas fotográficas em x e y, além das paralaxes diferenciais estereoscópicas (Silva, 2015).

A digitalização, ocorrida nas décadas de 1980 e 1990, revolucionou o campo, pois permitiu a criação de modelos tridimensionais detalhados de edifícios históricos, já que os *softwares* passaram a automatizar processos, como fototriangulação¹² e ortorretificação¹³.

A integração de métodos fotogramétricos com os avanços computacionais tem impulsionado o crescimento do mercado de imagens digitais obtidas por VANTs (veículos aéreos não tripulados). Estas fotografias são processadas em *softwares* especializados que utilizam as funções fundamentais de fotogrametria digital, como fototriangulação, medição automática de pontos por técnicas avançadas de correlação e combinação, geração de MDS (Modelos Digitais de Superfície) e MDT (Modelos Digitais de Terreno), ortorretificação e produção de ortofotocartas¹⁴. A principal diferença está no maior nível de automação desses *softwares*, que superam os programas tradicionais de fotogrametria digital (Silva, 2015).

A aplicação de técnicas de fotogrametria digital associadas à arquitetura e ao patrimônio edificado foi introduzida no final do século XIX, pelo já citado Albrecht Meydenbauer, arquiteto alemão, que fez uso de fotografias para registrar edificações que considerava arquitetonicamente notáveis em seu país (Soster e Ferrari, 2021).

Contudo, a fotogrametria digital só foi impulsionada realmente para este fim a partir da década de 1960, quando diversos países europeus se atentaram à preservação de seus monumentos, o que acarretou a promulgação da Carta de Veneza, em 1964 (Groetelaars e Amorim, 2013).

Nas décadas de 1980 e 1990, a simplificação do processo e a redução dos custos (Arruda, 2013), somadas à difusão de computadores pessoais capazes de manipular grande quantidade de dados e ao avanço da computação gráfica, possibilitaram a ampliação das possibilidades de aplicação das técnicas fotogramétricas, que passaram a abranger outros tipos de objetos (planos, curvos, complexos e irregulares) e a gerar produtos digitais com maior qualidade gráfica, como modelos tridimensionais foto-realísticos e ortofotos digitais (Groetelaars e Amorim, 2013).

Assim, para os arquitetos e urbanistas,

¹² Fototriangulação é um método utilizado para determinar as coordenadas tridimensionais de pontos no terreno a partir de fotografias aéreas, envolvendo a análise de imagens obtidas por câmeras aéreas para identificar pontos de referência e calcular as coordenadas deles por meio de triangulação. Seu uso é comum em levantamentos topográficos, mapeamento de terrenos, modelagem de superfícies e planejamento urbano.

¹³ Ortorretificação trata-se de um processo de correção de imagens que se encontram distorcidas devido à geometria de imageamento e ao relevo. Retificar uma fotografia consiste em projetá-la, segundo seu próprio feixe perspectivo, em um plano horizontal. O produto obtido a partir da retificação diferencial é denominado de ortofoto e a combinação ou a montagem de ortofotos origina o chamado ortomosaico.

¹⁴ Ortofotocartas são produtos cartográficos gerados a partir da combinação de fotografias com a qualidade geométrica de uma carta, permitindo, assim, a obtenção de medidas de distância, ângulos e áreas.

isso simplificou as tarefas como a medição direta, com trena e croquis, de edificações cujo grau de complexidade e dimensões dificultaria enormemente a tarefa, evitando interpretações ou interpolações que eventualmente surgem no trabalho realizado à mão (Arruda, 2013, p. 100-101).

Neste sentido, destaca-se a existência de três tipos de levantamento arquitetônico: direto (longimétrico), instrumental (topográfico) e indireto (fotogramétrico). O primeiro (mais comum e mais trabalhoso) exige que todos os pontos de levantamento estejam fisicamente acessíveis para que, com o uso de trenas, fitas métricas, níveis e prumo, o comprimento seja medido manualmente; o segundo exige que todos os pontos de levantamento estejam visíveis através de instrumentos de levantamento (como teodolito, *scanner* a laser, taquímetro e estação total), sendo levantados comprimento e ângulos; o terceiro, enfim, exige que todo plano a ser levantado esteja visível e enquadrado no fotograma, exigindo máquina fotográfica e programas de fotomodelagem e desenho técnico (Soster e Ferrari, 2021).

A técnica de levantamento que melhor se adequa a um objeto depende “da relação entre suas dimensões e a precisão que se deseja obter” (Soster e Ferrari, 2021, p. 6). Dito isso, a fotogrametria é indicada para edificações com muitos detalhes e, da mesma forma, para objetos históricos e patrimoniais de volumes orgânicos e ornamentados.

A aplicação de técnicas de fotogrametria digital associadas ao patrimônio artístico e aos bens móveis se deu a partir da adaptação de metodologias aplicadas ao patrimônio arquitetônico, edificado e arqueológico. O aperfeiçoamento de tecnologias relativas à fotografia e à computação gráfica também possibilitaram a adequação destas técnicas a objetos de menores dimensões e maior detalhamento.

2. FOTOGRAMETRIA APLICADA A ESCULTURAS

2.1 Fotogrametria aplicada a esculturas em madeira policromada

Dentre os métodos de documentação científica, há as técnicas baseadas em imagem e, dentre elas, a fotogrametria. Da mesma forma, dentre as técnicas de fotogrametria, há a fotogrametria à curta distância. O desenvolvimento deste trabalho se apoia nesta técnica, aplicando-a em um objeto tridimensional, especificamente, em uma escultura cuja materialidade é madeira policromada.

A maior parte das referências científicas relacionadas à fotogrametria se direciona à documentação do patrimônio arquitetônico, assim como diretrizes para a representação gráfica de mapas de danos. Dentre as referências relacionadas a bens móveis e ao patrimônio artístico,

observa-se que a fotogrametria é utilizada, em geral, como complemento à documentação fotográfica; e os modelos tridimensionais, como representação documental científica por si só, como componente de “museus virtuais” ou como referência para modelagem de partes faltantes.

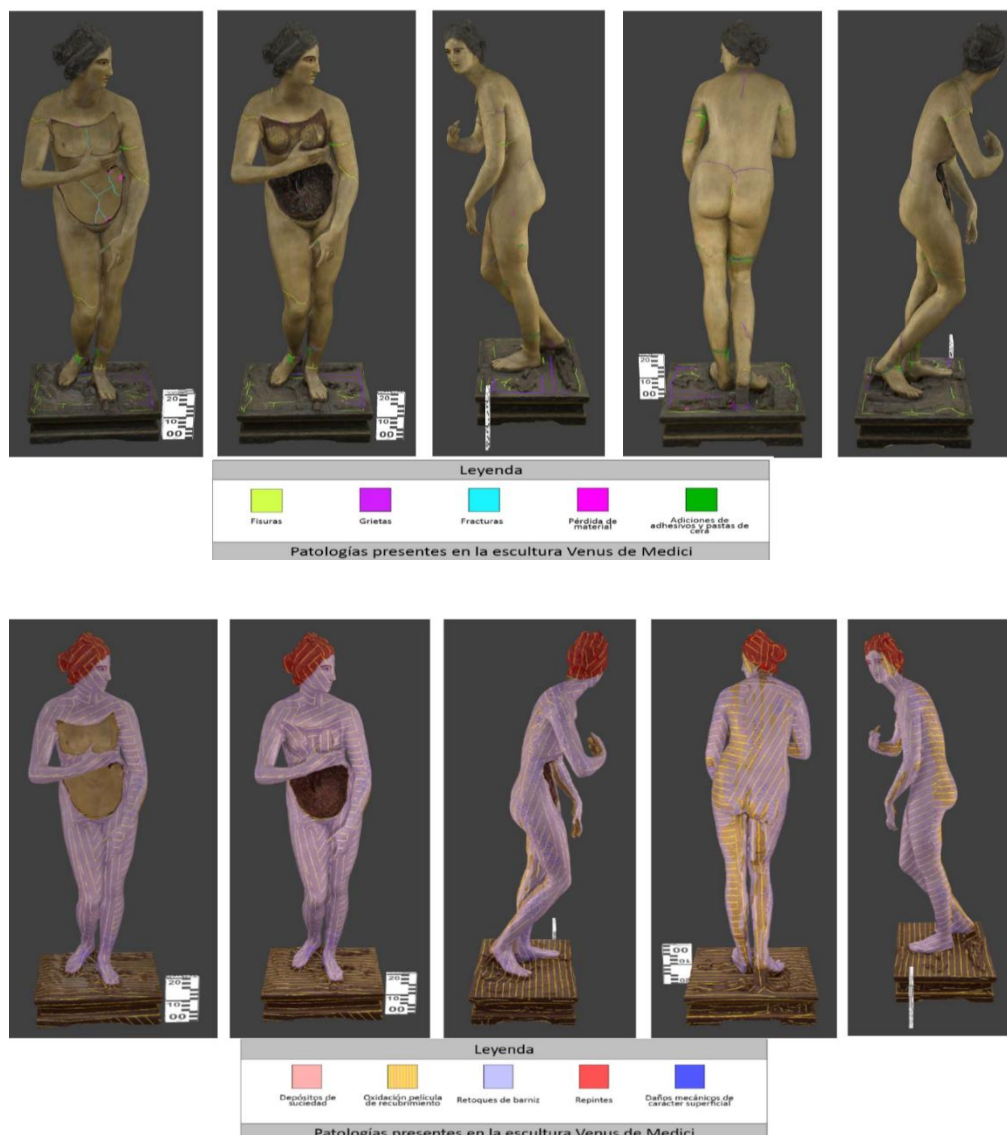
Concluiu-se, portanto, que há uma escassez de referências relativas à documentação científica de bens móveis por meio de mapas de danos – sejam de esculturas em geral, sejam de esculturas em madeira policromada em específico. Assim, com o intuito de explorar tal lacuna e propor uma metodologia aplicada a esculturas em madeira policromada, este trabalho dispõe-se a elaborar sobre esta temática a partir de um objeto de estudo.

Em meio a estas poucas referências, três estudos de caso recentes foram selecionados, tendo como critério as metodologias adotadas nestes trabalhos. O primeiro trata-se de um trabalho de conclusão de curso (TCC) intitulado "*Aplicación de técnicas digitales 3D en una propuesta de conservación-restauración para un modelo anatómico en cera*", de autoria de Sterp Moga (2017); o segundo, outro TCC, intitulado "*Uso del modelado y fabricación 3D como propuesta de intervención para la escultura 'Homenaje al campesino' de Enrique Cejas Zaldívar*", de autoria de Ibañez (2019); e o terceiro, mais um TCC, intitulado "*Elaboración de un mapa de daños 3D como recurso para la conservación y restauración de un bien cultural*", de autoria de Dehon (2020).

O primeiro estudo de caso (figura 1) tem como objetivo apresentar uma proposta de restauração e preservação de um modelo anatómico em cera conhecido como “Vênus de Médici”, datado do século XVIII e pertencente à coleção científica do Museu de Anatomia Javier Puerta (Madri, Espanha). Esta escultura apresenta significativo valor histórico e científico e encontrava-se em estado crítico de conservação, devido à fragilidade da cera e do acúmulo de danos.

A partir de técnicas digitais, como fotogrametria e modelagem 3D, foi feito o diagnóstico do estado de conservação da escultura e a documentação dos danos. A partir disso, elaborou-se propostas de restauração, como consolidação de fissuras e reconstituição de partes faltantes, e propôs-se um plano de conservação preventiva. Na metodologia, são empregados os *softwares* *PhotoScan* (atualmente, *Metashape*) e *Blender*, além de plataformas de realidade virtual, com o intuito de avaliar possibilidades de intervenção sem a necessidade de manipulação direta da escultura.

Figura 1 - Primeiro estudo de caso: mapa de danos

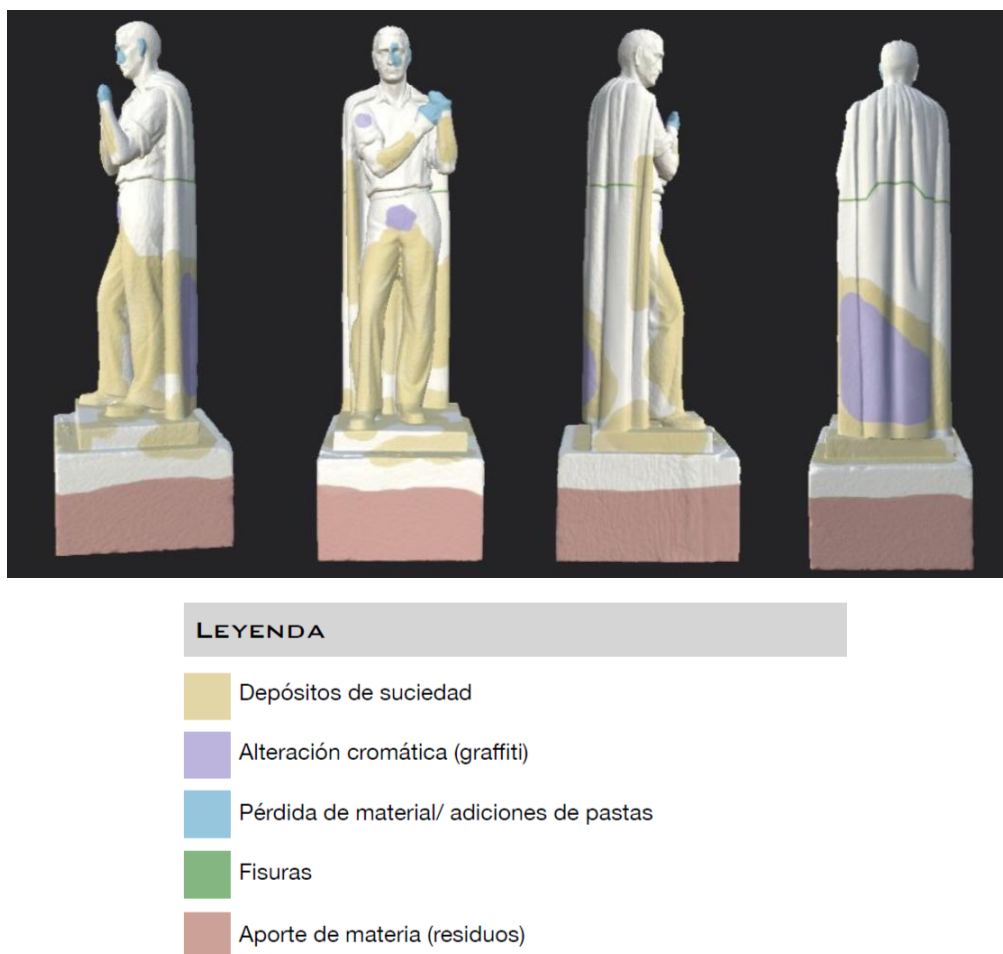


Fonte: <https://docta.ucm.es/entities/publication/875867f0-c99f-48dd-a87b-78db9aa58799>

O segundo estudo de caso (figura 2), por sua vez, trata-se de uma proposta de conservação e restauração da escultura em cimento intitulada "*Homenaje al Campesino*", do artista Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986), localizada em Santa Cruz do Tenerife (Espanha). Com o objetivo de realizar análises a partir de técnicas não destrutivas, fez-se uso de fotogrametria, a partir dos *softwares* *PhotoScan* (atualmente, *Metashape*) e *ZBrush*.

Desta maneira, foi realizada a análise do estado de conservação da escultura, a reconstituição volumétrica digital das partes faltantes, a elaboração de moldes – a partir dos dados digitais obtidos – para intervenção direta sobre a obra, e a elaboração da proposta de conservação preventiva para a escultura, que se encontra exposta em espaço público.

Figura 2 - Segundo estudo de caso: mapa de danos

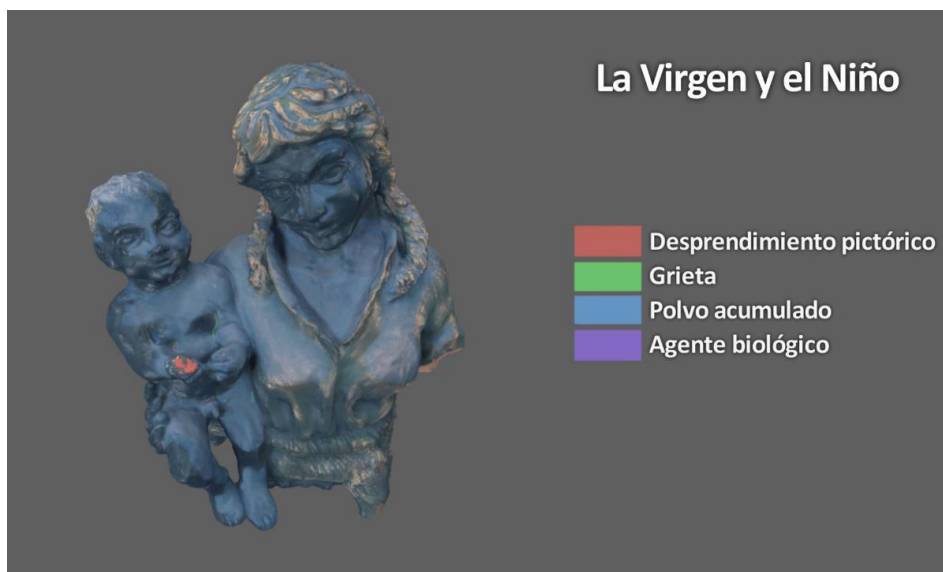


Fonte: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/17112>

O terceiro estudo de caso (figura 3), por fim, tem como objetivo a criação de um mapa de danos tridimensional detalhado da escultura em argila “*La Virgen de la Candela*”, do artista Francisco Hernández Fuentes (1949), como recurso para futuras intervenções de restauração e para exposição digital da obra.

A metodologia se baseou em técnicas de digitalização a partir de escaneamento com luz estruturada e de fotogrametria com câmera DSLR; e o processamento de dados foi realizado nos *softwares Blender, Artec Studio, e PhotoScan* (atualmente, *Metashape*), nos quais foram gerados dois modelos detalhados da escultura para comparação e criado um mapa de danos interativo. Assim, a pesquisa explorou de que modo o escaneamento 3D e a fotogrametria, como métodos não destrutivos, podem ser utilizados em documentação, preservação e restauração de obras de arte.

Figura 3 - Terceiro estudo de caso: mapa de danos



Fonte: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20522>

2.2 Escolha e caracterização do objeto de estudo

Para o desenvolvimento de uma metodologia de documentação científica por meio de mapa de danos e reconstrução digital, foi escolhido como objeto de estudo a escultura de São João Marcos (figura 4), datada de meados do século XVIII e proveniente da Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição, localizada no município de Raposos, em Minas Gerais.

Figura 4 - Escultura de São João Marcos (parte anterior à esquerda e posterior, à direita)



Fotografias: Cláudio Nadalin, 2023, acervo CECOR

A obra trata-se de uma escultura em madeira esculpida, dourada e policromada, com função devocional, cujas dimensões são: 94 cm de altura, 37 cm de largura e 25,5 cm de profundidade. Tombada em 1983 pelo Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN) – atualmente, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) –, a escultura foi recebida pelo Curso de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis (CCRBCM) em 2018, tornando-se objeto de estudos e intervenções em disciplinas do curso, devidamente registrados em relatórios, artigos e dois trabalhos finais de graduação.

O primeiro destes trabalhos, de autoria de Cavalcante (2021), apresenta uma reflexão teórica sobre a remoção da repintura da escultura, estabelecendo uma metodologia de análise

da policromia¹⁵ a partir de critérios de intervenção aplicados a esculturas em madeira policromada. O segundo, de autoria de Costa (2024), analisa a escultura a partir de diversos valores (como patrimonial, religioso, histórico, artístico e museal), além das características materiais da policromia da escultura, discutindo critérios de intervenção e considerando tanto os aspectos tangíveis, quanto os intangíveis.

Desde 2018, a técnica construtiva da policromia da escultura de São João Marcos tem sido estudada e, entre 2018 e 2019, exames de radiografia X revelaram estratos subjacentes e técnicas decorativas, justificando procedimentos de limpeza e remoção de camadas. Com o intuito de compreender a estratigrafia¹⁶ da policromia, Costa (2024) relacionou comparativamente as três temporalidades da obra (policromia original, repolicromia¹⁷ e repintura¹⁸), a partir da realização de exames globais e pontuais, com auxílio de lupa, lanterna, imagens digitais ampliadas com microscopia digital e fotografias com fluorescência de ultravioleta e radiação infravermelha, além de radiografia X.

A escultura de São João Marcos foi eleita como o objeto de estudo deste trabalho devido à complexidade de sua trajetória, que se reflete no estado de conservação e nas condições do suporte e da policromia. A obra passou por uma multiplicidade de intervenções, o que oferece uma variedade de informações a serem representadas no mapa de danos. Além disso, a documentação disponível e as análises anteriormente realizadas são de grande relevância para o desenvolvimento da metodologia de levantamento fotogramétrico e a elaboração do mapa de danos – que deve acompanhar a caracterização dos danos apresentados, como descrições e possíveis causas.

¹⁵ Policromia originou-se da combinação de dois termos gregos, “*poli*” (muitos) e “*khroma*” (cor), significando múltiplas cores. No contexto dos bens culturais, a policromia é a capa, com ou sem base de preparação, realizada a partir de diferentes técnicas pictóricas ou decorativas, de forma a cobrir total ou parcialmente esculturas e elementos arquitetônicos, proporcionando a eles acabamento ou decoração (Coelho e Quides, 2014). A policromia de uma escultura divide-se em duas partes, a carnação – cujo nome deriva-se de “carne”, significando a pintura da anatomia aparente da figura – e o estofamento – que é a representação dos tecidos das vestes.

¹⁶ A palavra “estratigrafia” originou-se da combinação dos termos “*stratum*” (latim) com “*graphia*” (grego), significando a escrita ou o estudo das camadas. No contexto dos bens culturais móveis, uma análise estratigráfica se baseia, em geral, em um corte estratigráfico, que consiste na retirada de amostras de locais estratégicos da obra, de forma a permitir a identificação e composição dos materiais que constituem as diversas camadas do bem cultural. Considerando que a policromia de uma escultura se divide em duas partes – carnação e estofamento –, as principais camadas identificáveis na policromia de uma escultura são: base de preparação, bolo armênio (apenas para aplicação de folhas metálicas, o que se dá no estofamento), folhas metálicas (no estofamento), camadas de tinta (óleo ou têmpera oleosa, no caso da carnação; têmpera, no caso do estofamento) e veladuras.

¹⁷ Repolicromia consiste na aplicação de uma nova camada de policromia sobre a escultura, geralmente para substituir ou atualizar a policromia original que se encontra danificada, degradada, ou que é considerada inadequada diante de critérios estéticos ou funcionais de uma época.

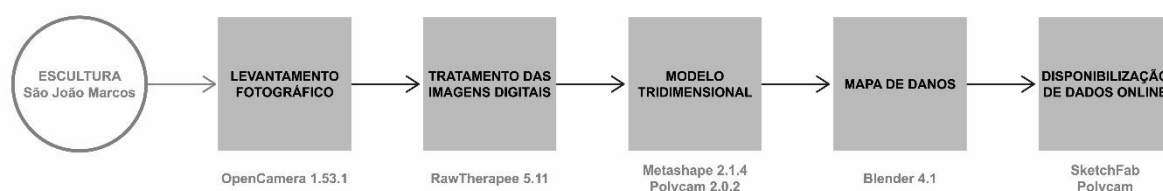
¹⁸ Repintura consiste na aplicação de tinta – em partes específicas ou em toda a superfície da escultura – sobre outra camada da policromia (seja ela a original, uma repolicromia ou outra repintura), de forma não técnica e menos cuidadosa no que diz respeito à autenticidade da obra e à reversibilidade da intervenção.

3. MODELO TRIDIMENSIONAL E MAPA DE DANOS

3.1 Metodologia de levantamento e tratamento dos dados

A metodologia adotada (figura 5) para o desenvolvimento deste trabalho pode ser segmentada em cinco etapas: levantamento fotográfico, tratamento das imagens, processamento do modelo tridimensional, criação do mapa de danos e disponibilização do material digital.

Figura 5 - Etapas da metodologia com *softwares*/aplicativos utilizados



Fonte: autor

A primeira etapa da metodologia consistiu no **levantamento fotográfico**. Para isso, a escolha das estratégias de captura se deu a partir de uma análise prévia das características físicas da escultura, como dimensões e composição material (sobretudo, a capacidade de reflexão de luz da sua superfície).

O registro fotográfico foi realizado com um Samsung Galaxy A15, *smartphone* de entrada da marca *Samsung*, lançado no Brasil em dezembro de 2023, com sistema operacional *Android* e a seguinte configuração: processador *octacore* de 2.2 GHz de velocidade, memória RAM de 8 GB e armazenamento interno de 256 GB. O aparelho celular apresenta três câmeras, além da frontal (13 *megapixel* de resolução e f/2.0 de abertura), sendo elas a *ultrawide* (5 MP e f/2.2), a macro (2 MP e f/2.4) e a câmera principal (50 MP e f/1.8) – que foi utilizada para este levantamento fotográfico.

Todavia, não se fez uso do aplicativo de câmera previamente instalado no aparelho, mas do *Open Camera*, aplicativo de código aberto disponível gratuitamente para dispositivos *Android* (figura 6).

Figura 6 - Página para *download* do aplicativo *Open Camera*

Open Camera

Mark Harman
Contém anúncios

4,2★
278 mil avaliações

100 mil+
Downloads

Classificação Livre

Instalar em outros locais

Compartilhar



Fonte: https://play.google.com/store/apps/details?id=net.sourceforge.opencamera&hl=pt_BR

O aplicativo *Open Camera* apresenta uma ampla variedade de recursos para fotografia e gravação de vídeo, permitindo o ajuste manual da fotometria¹⁹, isto é, dos três controles primários de uma câmera (abertura²⁰, velocidade do obturador²¹ e ISO²²), o que possibilita o controle total da exposição²³ das fotografias à luz. O aplicativo ainda permite configurar foco e balanço de branco, apresenta um recurso de estabilização para corrigir movimentações leves do aparelho e é capaz de gerar arquivos em formato RAW (que armazena os dados da imagem diretamente do sensor, ou seja, sem processamento, oferecendo maior flexibilidade na edição).

No caso dos aparelhos celulares – diferentemente de câmeras DSLR (*Digital Single Lens Reflex*), que suportam lentes intercambiáveis –, a abertura das lentes é fixa e determinada pelo fabricante, por isso, a exposição das fotografias deve ser determinada a partir do equilíbrio entre velocidade do obturador e ISO. Como indicado anteriormente, a câmera principal do Samsung Galaxy A15 apresenta abertura de f/1.8, permitindo a entrada de muita luz. Portanto,

¹⁹ Fotometria originou-se do grego antigo, tratando-se da combinação de “*photos*”, que significa “luz”, com “*metria*”, que significa “medida”. Desta forma, consiste na medição da luz em termos de sua percepção pelo olho humano. Na fotografia, tem como objetivo calcular a quantidade de luz que entra na câmera para que a imagem resultante apresente condições equilibradas de luminosidade.

²⁰ Um dos três elementos da fotometria, a abertura (f/stop) indica o diâmetro do diafragma da lente, determinando a quantidade de luz captada pelo sensor. Assim, uma abertura maior (como f/1.8) permite maior entrada de luz e menor profundidade de campo; enquanto uma abertura menor (como f/16) reduz a quantidade de luz e amplia a profundidade de campo, permitindo a nitidez de elementos em diferentes planos da cena.

²¹ Outro dos três elementos da fotometria, a velocidade do obturador define o tempo, medido em segundos, em que o obturador da câmera fica aberto para permitir que a luz alcance o sensor. Assim, uma velocidade alta (como 1/1000s) permite que menos luz entre, enquanto uma velocidade baixa (como 1/30s) permite a entrada de mais luz. Ao captar objetos em movimento, o obturador deve ser rápido e o ambiente deve apresentar boa luminosidade; da mesma forma, fotografar objetos em movimento em ambientes escuros exige menor velocidade do obturador, para que não se perca o foco.

²² Mais um dos três elementos da fotometria, o ISO (sigla para *International Organization for Standardization*, nome da organização que normatizou a velocidade do sensor das câmeras à luz) indica a sensibilidade do sensor à luz. Quanto maior o valor do ISO, mais sensível está a câmera à luz e mais clara ficará a imagem. Assim, valores baixos (como 100 ou 200) são utilizados em condições de alta luminosidade, enquanto valores altos (como 1600 ou mais) são utilizados em condições de baixa luminosidade. Destaca-se que valores altos de ISO podem gerar um aspecto granuloso (também chamado de “ruído”), reduzindo a definição da imagem; da mesma forma, valores baixos de ISO não permitem capturar muitos detalhes em ambientes escuros.

²³ A exposição é resultado da combinação dos três elementos da fotometria, referindo-se à quantidade de luz que atinge o sensor ou o filme da câmera, o que determina a luminosidade da imagem final.

o celular depende de outros recursos para ajuste de exposição e profundidade de campo, como o uso de aplicativos como o *Open Camera*.

É importante destacar que, apesar da possibilidade de utilização de uma câmera digital para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pelo aparelho celular, por representar uma ferramenta de popularização do acesso à internet e, principalmente, à fotografia. Desta forma, propôs-se desenvolver uma metodologia de levantamento de dados fotográficos para elaboração de um modelo tridimensional a partir de equipamentos acessíveis ao conservador-restaurador, mas também ao estudante de conservação-restauração, dinamizando a documentação do seu trabalho. Contudo, não se espera popularizar o processo de elaboração do mapa de danos em si, visto que isso exigiria acesso a um computador mais robusto e a *softwares* específicos, além de conhecimento e habilidade relativos ao uso deste equipamento.

Para a fotografia, além da qualidade da câmera, a iluminação pode ser considerada a questão mais importante a se atentar, visto que, as áreas devidamente iluminadas são as que serão mais bem registradas e, portanto, áreas escuras devem ser evitadas e áreas refletivas devem ser corrigidas *in loco*.

Para a realização do primeiro levantamento fotográfico, portanto, fez-se uso de dois iluminadores Mako®, modelo *Digital Light 4x55*, dotados de quatro lâmpadas fluorescentes de 55 Watts cada um, com temperatura de cor de 5.500K e alto índice de reprodução de cores (IRC igual ou maior que 95) (figuras 7 e 8).

Figura 7 - Manual do fabricante dos iluminadores

DIGITAL LIGHT

Manual de Instruções



PARTES DO ILUMINADOR

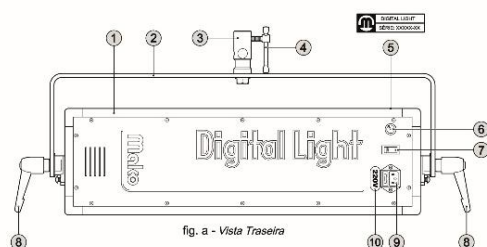


fig. a - Vista Traseira

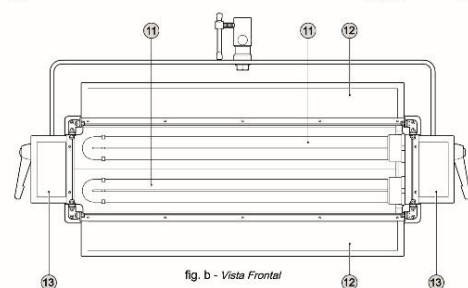
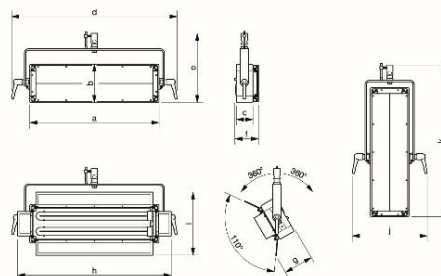


fig. b - Vista Frontal

- | | |
|--|---|
| 1 - Caixa do Iluminador. | 8 - Alavanca de ajuste da inclinação do iluminador |
| 2 - Estrutura do Yoke. | 9 - Conector Tripolar de ligação a rede elétrica com porta-fusível. <i>"Inclusos dois fusíveis, sendo um reserva"</i> |
| 3 - Pino de encaixe Ø1,1/8" do Yoke. | 10 - Etiqueta indicadora da Voltagem 110 ou 220V. |
| 4 - Manipulo T M8 do Yoke. | 11 - Lâmpada. |
| 5 - Etiqueta com número de série. | 12 - Aba Maior espelhada. |
| 6 - Knob para ajuste da intensidade da luz (modelos com Dimmer). | 13 - Aba Menor espelhada. |
| 7 - Interruptor Liga/Desliga. | |

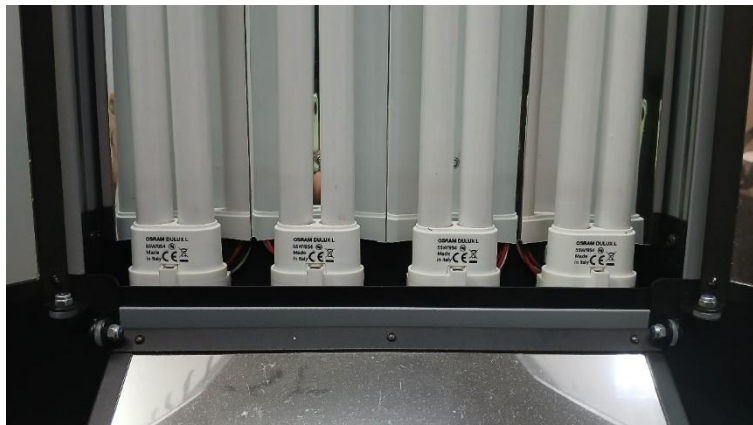
DIMENSÕES:



Dimensões (mm)	Digital Light 4x55
a	585
b	315
c	75
d	750
e	mínima 395
	máxima 550
f	107
g	175
h	810
i	540
j	480
k	mínima 680
	máxima 925

Índice de eficiência para as luminárias Digital Light			
Modelo	Distância (m)	Lux (Lx)	Footcandle (Fc)
Digital Light 4x55	1	7200	669
	2	1840	171
	3	900	83
	4	590	54

Figura 8 - Iluminação utilizada nos levantamentos fotográficos



Fotografia: autor

A escultura foi apoiada sobre uma mesa coberta por papel cinza, enquanto as fontes de luz, sustentadas por tripés, foram posicionadas à frente e nas laterais da escultura (à esquerda e à direita), formando um ângulo de aproximadamente 45° em relação a ela, com a intenção de iluminá-la uniformemente. Com este *layout* (figuras 9 e 10), foi preciso realizar o levantamento fotográfico em duas parcelas independentes para a geração de dois modelos tridimensionais (um, da parte anterior da escultura; outro, da parte posterior), que precisariam ser posteriormente unidos em um só modelo para elaboração do mapa de danos.

Figura 9 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação



Fotografia: autor

Figura 10 - Primeiro levantamento fotográfico: planta de *layout* do estúdio



Fonte: autor

É preciso considerar também que, ao posicionar e ajustar a iluminação, deve-se conferir intensidade e posição das sombras que se formam sobre a escultura. O objetivo é evitar “sombras duras” e, para isso, o ideal seria o uso de um difusor de luz, que pode ser feito a partir da sobreposição das lâmpadas com papel vegetal ou outro material translúcido branco leitoso. No caso da escultura de São João Marcos, quando foi posicionada sobre a mesa com as lâmpadas ligadas, atentou-se à sombra projetada pelo bloco da mão direita da figura humana sobre a própria escultura e, para amenizá-la, a fonte de luz posicionada à direita da escultura foi erguida acima da altura da mão (figuras 11, 12 e 13).

Figura 11 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação



Fotografia: autor

Figura 12 - Primeiro levantamento fotográfico: sombra projetada pela escultura sobre si mesma



Fotografia: autor

Figura 13 - Primeiro levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação

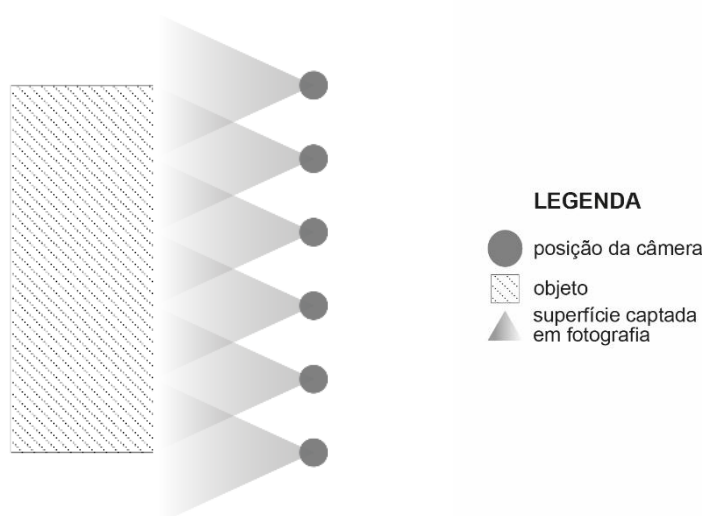


Fotografia: autor

Foi realizada uma sequência de tomadas de fotografias com movimentação da câmera (ao invés do objeto fotografado), a partir de uma variação angular regular, até que se completasse 360° em torno do objeto. A complexidade do objeto é o que determina a necessidade ou não de se realizar diversas sequências de fotografias em alturas e posições diferentes para se obter a cobertura completa da superfície. Além disso, qualquer falha na captura de imagens pode ocasionar em erros ou em lacunas no modelo tridimensional final gerado no *software* especializado.

No caso da escultura de São João Marcos, diante de suas dimensões e complexidade de sua superfície, realizou-se voltas em torno da escultura em seis alturas diferentes, considerando que as fotografias tomadas em uma volta deveriam ser sobrepostas pelas tomadas na volta seguinte em aproximadamente 50%, em prol da otimização do alinhamento das imagens pelo *software* responsável pelos modelos tridimensionais (figura 14). Pelo mesmo motivo, recomenda-se a mesma taxa de sobreposição entre uma fotografia e outra da mesma volta.

Figura 14 - Método recomendado para captura de fotografias: 50% de sobreposição



Fonte: autor

Após o levantamento fotográfico da parte anterior da escultura, ela foi rotacionada em torno de si mesma, de forma que a parte posterior se voltasse para os iluminadores, para que se realizasse o levantamento fotográfico da parte posterior.

Assim, somando ambas as parcelas do primeiro levantamento fotográfico, foram realizadas 12 voltas em torno da obra, contabilizando 1185 fotos capturadas para o registro da parte anterior e 725, para o da parte posterior (figura 15). Lembrando que, ao se observar áreas de maior detalhamento da obra – blocos de volume complexo (como as mãos da figura humana), regiões de transição entre diferentes pigmentações e regiões da policromia repletas de detalhes decorativos (em que se expressam técnicas decorativas como esgrafiado²⁴, punções²⁵ e pintura a pincel²⁶) –, recomenda-se capturar imagens especificamente destas áreas.

²⁴ Esgrafiado ou esgrafito é a técnica de ornamentação que se baseia em arranhar ou desbastar com ferramenta pontiaguda a camada de tinta – geralmente, têmpera – em fase de secagem, de forma a revelar partes da camada de folha metálica subjacente, formando desenhos, cujos motivos variam entre fitomorfos e geométricos (Coelho e Quites, 2014). O termo originou-se do termo italiano “*sgraffito*”, que designa uma ferramenta de mesmo nome semelhante a um estilete. Destaca-se que “o esgrafito está sempre acompanhado de pintura a pincel e, também, de punções, enfatizando algumas partes do desenho de folhas e flores” (Coelho e Quites, 2014, p. 87).

²⁵ Punção, do latim, “*punctio*” (perfuração), é a técnica de ornamentação que consiste em pressionar instrumentos metálicos de pontas, tamanhos e formatos variados – como: círculo, cruz, esfera, estrela, losango, etc – sobre a camada de folha metálica, de maneira gravar texturas na superfície da escultura, com o intuito de distinguir áreas de douramento liso e rugoso ou fosco e brilhante, contornar pintura a pincel ou esgrafiado, e formar desenhos geométricos como linhas e zigue-zague (Coelho e Quites, 2014).

²⁶ Pintura a pincel é a técnica de ornamentação executada a partir de pinceladas de tinta (em geral, têmpera) sobre a camada de folha metálica. No Brasil, durante o século XVIII, eram usados pinceis finos sobre esgrafiados para completar e destacar elementos dos motivos fitomorfos (flores, ramos e folhas) e, em situações em que havia a representação completa destes elementos, eram usados pinceis de espessuras variadas para adorná-los (Coelho e Quites, 2014).

Figura 15 - Primeiro levantamento fotográfico: movimentação da câmera em torno da escultura



Fotografia: Luciana Bonadio

O segundo levantamento, por sua vez, foi realizado com o auxílio de três iluminadores Mako®, modelo *Digital Light 4x55*, dotados de quatro lâmpadas fluorescentes de 55 Watts cada um, com temperatura de cor de 5.500K e alto índice de reprodução de cores (IRC igual ou maior que 95).

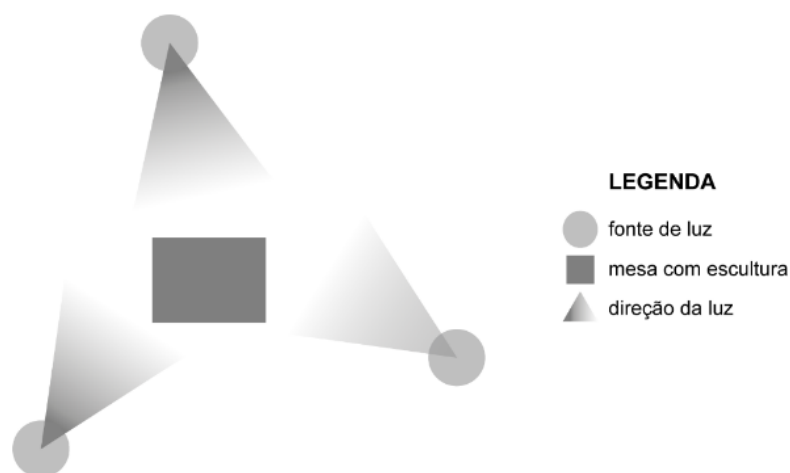
A escultura foi apoiada sobre uma mesa de superfície branca, enquanto as fontes de luz, sustentadas por tripés, foram posicionadas em triangulação em torno da escultura. Com este *layout* (figuras 16 e 17), buscou-se registrar toda a escultura e gerar apenas um modelo tridimensional para elaboração do mapa de danos.

Figura 16 - Segundo levantamento fotográfico: posicionamento da iluminação



Fotografia: autor

Figura 17 - Segundo levantamento fotográfico: planta de *layout* do estúdio



Fonte: autor

Assim como no primeiro levantamento, a fonte de luz direcionada para o lado direito da escultura foi posicionada a uma altura maior que as outras, com a intenção de reduzir a sombra causada pelo bloco da mão direita sobre a própria escultura.

Seguiu-se, portanto, a mesma metodologia do primeiro levantamento, em que se movimentou a câmera em torno do objeto fotografado com variação angular regular, até que se completasse 360° em torno dele. Realizou-se voltas em torno da escultura em seis alturas

diferentes, considerando que as fotografias tomadas em uma volta deveriam ser sobrepostas pelas tomadas na volta seguinte em aproximadamente 50%. Da mesma forma, recomenda-se a sobreposição entre uma fotografia e outra da mesma volta.

No segundo levantamento fotográfico, contudo, foi utilizada uma cartela *color checker* (figura 18) para posterior gerenciamento de cores das imagens captadas. A calibração de cor a partir de uma cartela física de referência de cores (de procedência e qualidade técnica) é prática essencial para garantir precisão e consistência cromática nas fases de geração e visualização da imagem, possibilitando que o objeto tenha suas cores registradas de maneira fidedigna.

Nesse contexto,

A fotografia digital de bens culturais utilizando luz visível com gerenciamento de cores é uma das técnicas existentes dentro da documentação científica por imagem de bens culturais e pode colaborar no registro e/ou diagnóstico de objetos histórico-artísticos (Leão *et al.*, 2018, p. 288).

Figura 18 - Segundo levantamento fotográfico: cartela de referência de cor de fabricante chinês



Fotografia: autor

Assim, a partir dos valores de referência para cada amostra de cor, a cartela permite o processamento das imagens, que deve ser realizado em *software* especializado, como o *RawTherapee*²⁷.

Após a montagem e o posicionamento dos equipamentos para a realização do segundo levantamento fotográfico, a cartela foi posicionada à frente da escultura (figura 19), de maneira que fosse fotografada junto à obra e sob as mesmas condições de iluminação. As primeiras

²⁷ *RawTherapee* é um *software* de código aberto e gratuito utilizado para edição de imagens. Compatível com praticamente todos os formatos RAW utilizados por câmeras digitais, também suporta formatos como TIFF e JPEG, apresentando ferramentas avançadas de edição, compatibilidade com outros editores de imagem e alta qualidade de processamento.

imagens captadas da obra, portanto, continham a cartela e serviram de referência para o gerenciamento de cores de todas as fotografias subsequentes.

Figura 19 - Segundo levantamento fotográfico: uso de cartela de referência de cor



Fotografia: autor

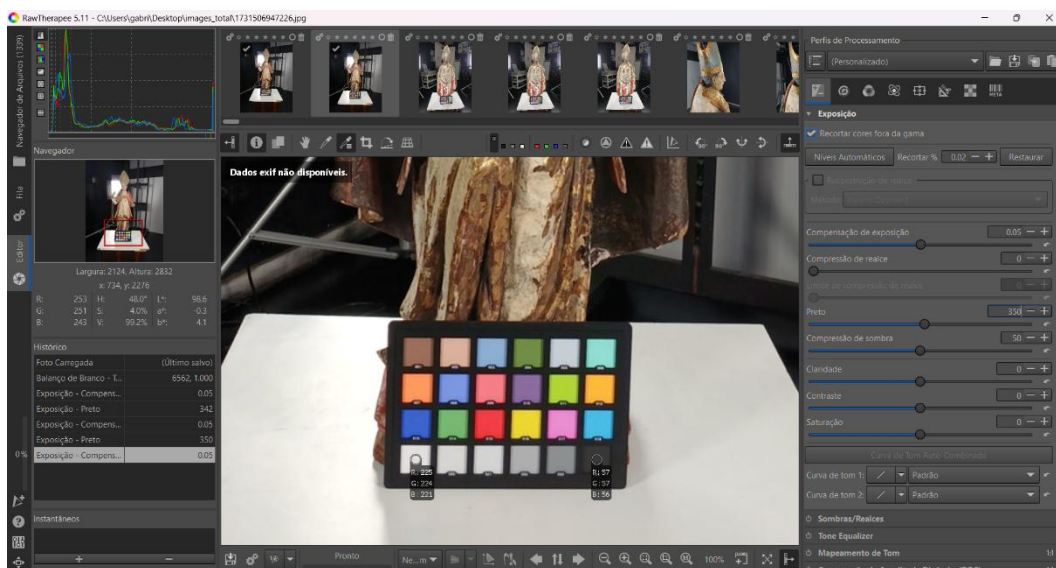
Enfim, como resultado do levantamento fotográfico total da escultura, foram capturadas 1.339 fotografias.

A segunda etapa da metodologia consistiu no **tratamento das imagens digitais**, a partir do ajuste do balanço de branco e da exposição.

Esta etapa visa corrigir a temperatura de cor escolhida na configuração da câmera de acordo com a temperatura de cor das fontes de luz utilizadas para iluminar a obra, e também corrigir a quantidade de luz registrada pela câmera (fotometria). Estes ajustes são feitos numericamente por meio do uso da cartela de referência cromática (Leão *et al.*, 2018, p. 292).

Destaca-se, além disso, a importância da calibragem de cor do monitor, o que traz resultados visuais mais confiáveis e deve ser feito por meio de equipamento colorimétrico (colorímetro) e de *software* especializado (figura 20).

Figura 20 - Interface do *RawTherapee*: tratamento das imagens



Fonte: autor

Comparando as fotografias antes e depois da correção de cores feita no *RawTherapee* (figura 21), observou-se um aumento de cerca de um terço no tamanho dos arquivos em formato JPG, porém, não foram observadas diferenças visuais evidentes, o que pode ser justificado pelo uso de iluminação adequada – iluminadores bem posicionados e lâmpadas com temperatura de cor ideal – e pela configuração satisfatória do aplicativo utilizado na tomada de fotografias.

Figura 21 - Comparação das imagens antes (à esquerda) e depois (à direita) da edição



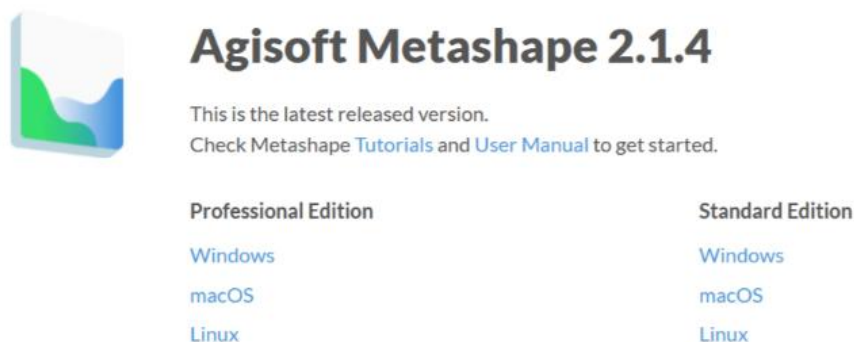
Fotografias: autor

3.2 Metodologia de elaboração do modelo tridimensional

A terceira etapa da metodologia consistiu no **processamento das imagens** para reconstrução digital por meio da geração de um modelo tridimensional em *software* especializado. Para isso, dentre as opções de *softwares* aos quais o autor teria acesso – *Meshroom* (*software* gratuito), *Metashape* (versão profissional de teste com duração de 30 dias) e *PhotoModeler* (versão profissional com licença de um ano) – e considerando mais do que as configurações do computador disponível²⁸, mas também a familiaridade do autor com cada um deles, elegeu-se o *Metashape* (figura 22) para aplicação neste trabalho.

²⁸ O computador disponível para o desenvolvimento do trabalho tratou-se de um notebook Dell, modelo G15 5530, com sistema operacional Windows 11 Home (64 bits) e a seguinte configuração: CPU Intel® Core™ i5-13450HX (13ª geração 10-core, cache de 20 MB, até 4.6G Hz) e 16 GB de RAM; e GPU NVIDIA® GeForce® RTX™ 3050 (6 GB, GDDR6).

Figura 22 - Página para *download* do *software Metashape*



Fonte: <https://www.agisoft.com/downloads/installer/>

Para explicar como se desenvolveu o processamento de dados, é interessante elaborar sobre como se configura o fluxo de trabalho²⁹ do *Metashape*, tendo em vista que ele varia ligeiramente de acordo com seu objetivo (modelagem 3D, ortofoto ou nuvem de pontos).

Para a geração de um modelo 3D, as fases do fluxo de trabalho são: **importação de imagens**, a partir das quais o modelo vai ser construído; **alinhamento das imagens**, para se determinar a posição e a orientação de cada uma delas, o que é feito a partir de algoritmos de correspondência de pontos que identificam características comuns entre as imagens, gerando uma nuvem de pontos esparsa e definindo a geometria básica do modelo; **construção de nuvem de pontos densa** que, a partir de milhões de pontos, representa a superfície do objeto; **geração de malha tridimensional**, que se apresenta como uma rede de polígonos que representam a geometria do objeto; **texturização da malha**, em que se aplicam texturas realistas à malha tridimensional que, definidas pelas imagens originais, criam uma representação visual precisa do objeto de acordo com a qualidade das fotos e da sobreposição com que foram capturadas; **refinamento e ajustes finais**, que podem ser feitos manualmente ou a partir do reproprocessamento de fases realizadas anteriormente, com o objetivo de melhorar a precisão e a qualidade do modelo, corrigindo erros da nuvem de pontos, da malha ou da textura; e, por fim, **exportação do produto final** (no caso, o modelo 3D) em formatos diversos, para que, assim,

²⁹ Fluxo de trabalho (ou *workflow*) de um *software* refere-se ao conjunto organizado de fases, processos e ferramentas utilizados para alcançar um objetivo ou produzir um resultado específico em uma aplicação ou um sistema, descrevendo como as tarefas são realizadas, em que ordem e quais ferramentas ou recursos estão envolvidos. São elementos fundamentais de um fluxo de trabalho: dados de entrada (*input*), que se tratam de informações ou arquivos necessários para que se inicie o processo; processos, referindo-se às fases ou ações de processamento realizadas para se transformar os dados de entrada em produtos de saída (como edição, análise ou simulação); e dados de saída (*output*), que se tratam dos resultados, como relatório ou arquivo exportado.

possa ser utilizado para o seu fim ou importado em outro *software* para processamentos adicionais, como preparação para impressão 3D.

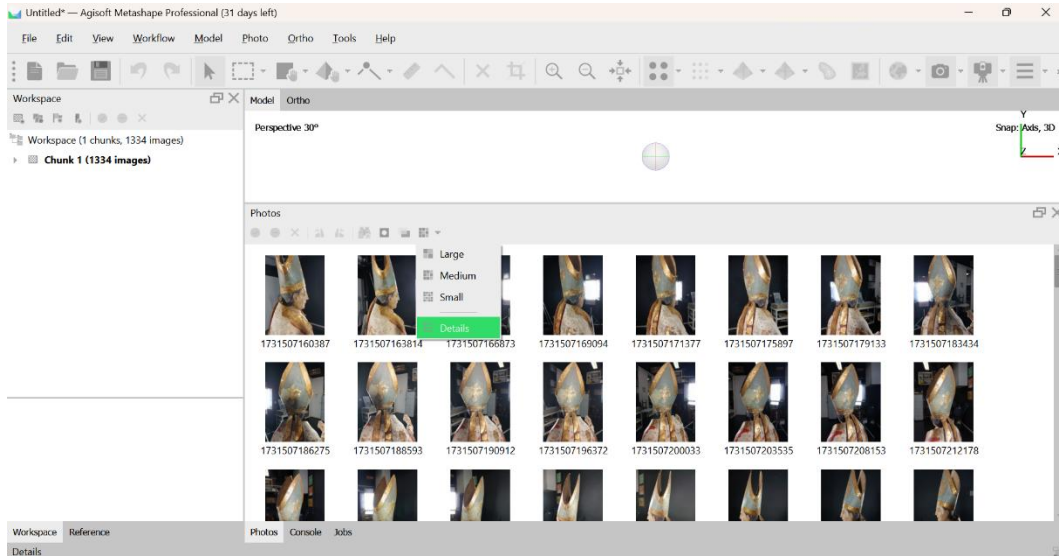
É importante destacar que, nas fases de alinhamento de imagens, criação de nuvem de pontos densa e de malha tridimensional, o *Metashape* oferece opções de definição de precisão ao usuário – “*highest*”, “*high*”, “*medium*” ou “*low*” –, parâmetro que deve ser ajustado de acordo com o resultado almejado e considerando a capacidade de *hardware* do computador, que pode apresentar lentidão e falhas no processamento. Na fase de alinhamento, a precisão deve ser definida de acordo com a qualidade e a quantidade das fotos importadas; na fase de criação da nuvem de pontos densa, o nível de precisão selecionado define a qualidade da nuvem de pontos, o que significa sua densidade; e, na fase de criação da malha 3D, o nível de precisão selecionado define o detalhamento da malha, isto é, a densidade dos polígonos que a constituem.

Antes de iniciar o processamento, portanto, é recomendável conferir a qualidade das fotografias que serão utilizadas para a criação do modelo 3D. Após a importação das imagens para o *Metashape*, elas estarão dispostas na aba “fotografias”, onde deve-se visualizá-las em lista e solicitar a análise da resolução de todas elas. O *software*, então, indica um valor, entre zero e um, referente à qualidade de cada imagem. Quanto mais próximo de zero é o valor, menor é a qualidade da imagem e, quanto mais próximo de um, maior é a qualidade da imagem, indicando que ela apresenta boas condições de foco e de iluminação.

Assim, quando a maior parte das imagens apresenta valor de qualidade próximo de “0,7”, torna-se viável o alinhamento das imagens em alta ou em altíssima qualidade, a depender das configurações de *hardware* do computador disponível. E, da mesma forma, quando a maior parte das imagens apresenta valor médio de qualidade próximo a “0,3”, o alinhamento das imagens torna-se viável apenas em baixa qualidade, o que pode inviabilizar o processamento de um modelo 3D cuja finalidade volta-se para a documentação científica de uma escultura que apresenta uma multiplicidade de detalhes. Neste caso, é recomendável a remoção das fotografias de baixa qualidade ou o refazimento do levantamento fotográfico.

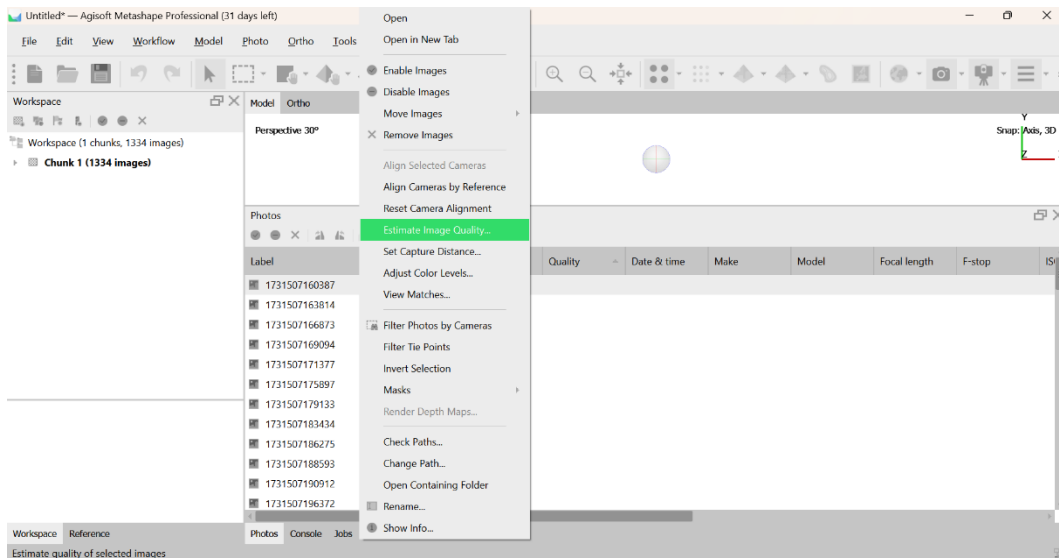
No caso das fotografias capturadas da escultura de São João Marcos, em ambos os levantamentos fotográficos, observou-se que a maioria apresenta boa qualidade (figuras 23, 24, 25, 26 e 27), viabilizando o processamento do alinhamento com precisão alta ou altíssima.

Figura 23 - Interface do *Metashape*: qualidade das imagens



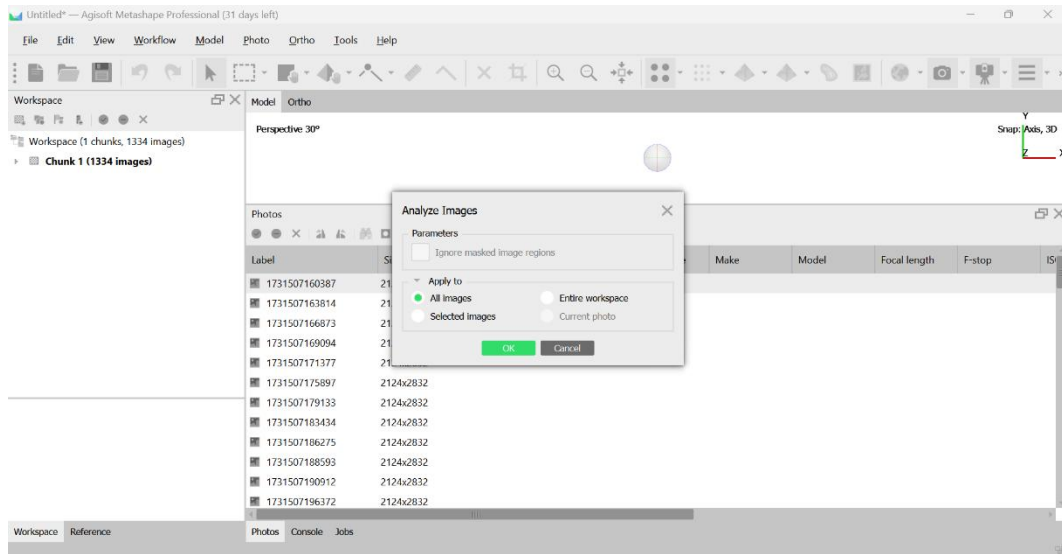
Fonte: autor

Figura 24 - Interface do *Metashape*: qualidade das imagens



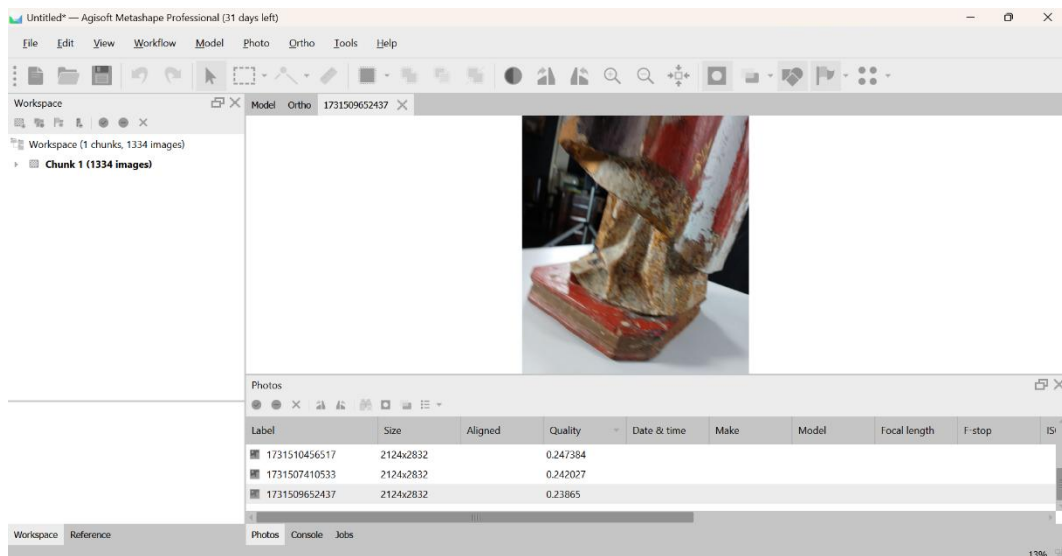
Fonte: autor

Figura 25 - Interface do *Metashape*: qualidade das imagens (seleção das imagens)



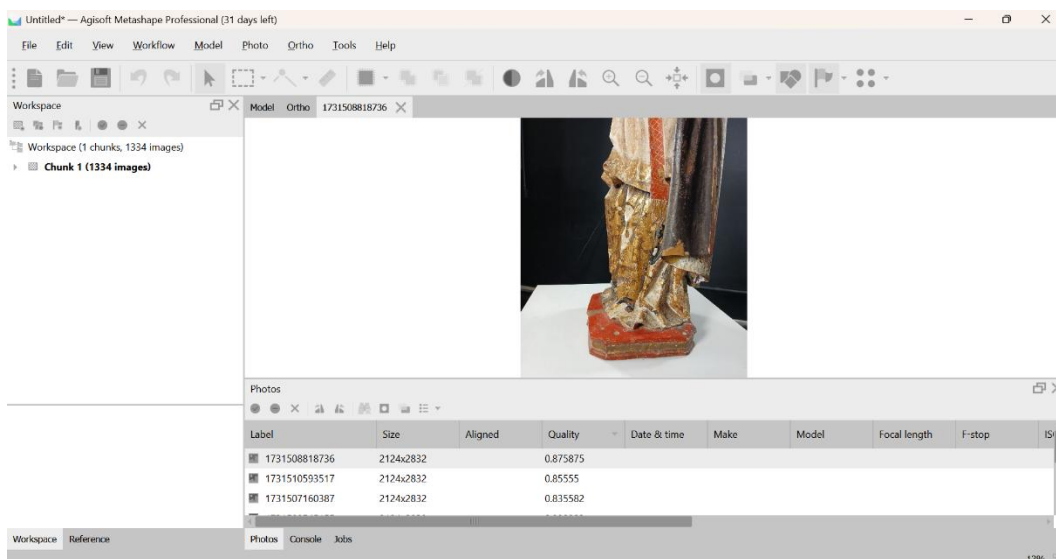
Fonte: autor

Figura 26 - Interface do *Metashape*: qualidade das imagens (imagem de menor qualidade)



Fonte: autor

Figura 27 - Interface do *Metashape*: qualidade das imagens (imagem de maior qualidade)

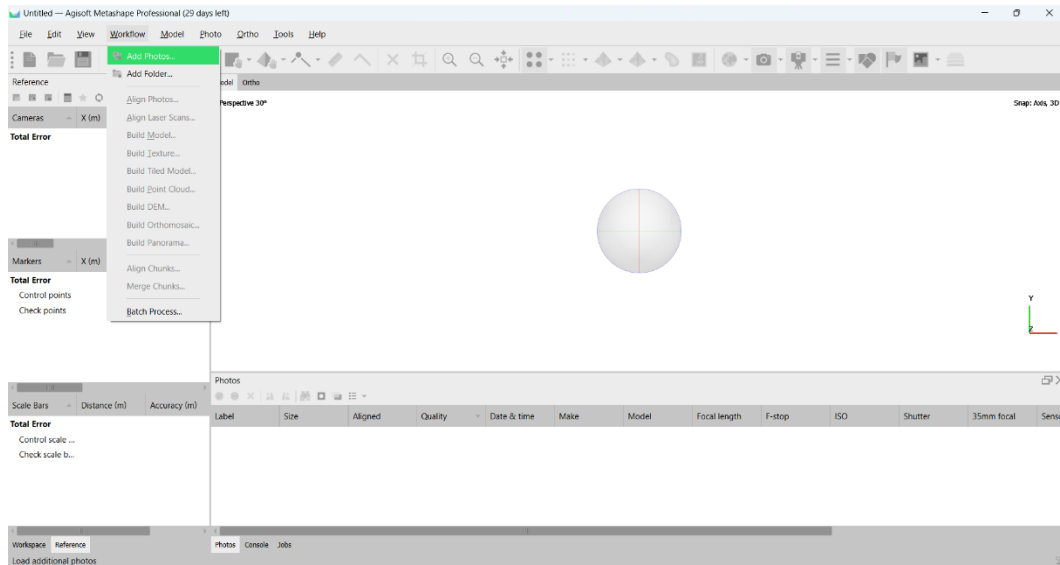


Fonte: autor

No *Metashape*, a partir do fluxo de trabalho descrito, foram gerados dez modelos tridimensionais da escultura de São João Marcos para fins comparativos, cujos arquivos foram nomeados de acordo com a parte da escultura adequadamente iluminada na fase de levantamento fotográfico (“A” para parte anterior, “B” para parte posterior e “T” para toda a escultura), de acordo com a existência ou não da fase de edição colorimétrica das fotografias capturadas no segundo levantamento (“sE” significando “sem edição” e “cE”, com edição) e de acordo com a precisão selecionada no *software* na fase de alinhamento de fotografias (“highest”, “high” e “medium”). Assim, obteve-se os seguintes de modelos: “SJM_A_highest”, “SJM_A_high”, “SJM_A_medium”, “SJM_B_highest”, “SJM_B_high”, “SJM_B_medium”, “SJM_TsE_high”, “SJM_TcE_highest”, “SJM_TcE_high”, “SJM_TcE_medium”.

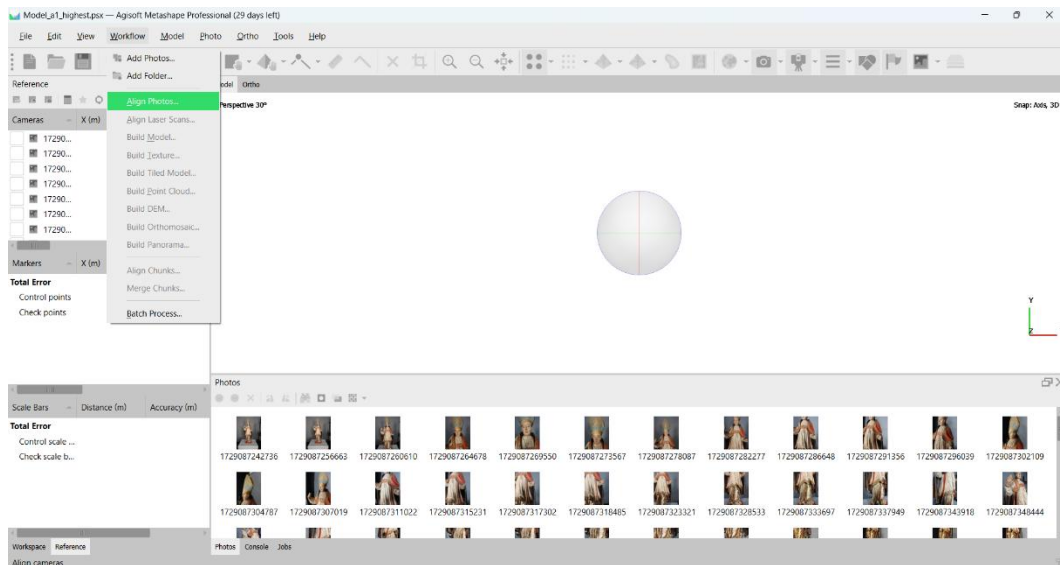
A seguir, a partir de capturas de tela da interface do *Metashape*, registrou-se cada fase do fluxo de trabalho: importação das fotografias (figura 28), alinhamento das fotografias (figuras 29 e 30), construção do modelo 3D (figuras 31 e 32), construção da textura (figuras 33 e 34), construção da nuvem de pontos (figuras 35 e 36), exportação do modelo (figura 37).

Figura 28 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: importação das fotografias



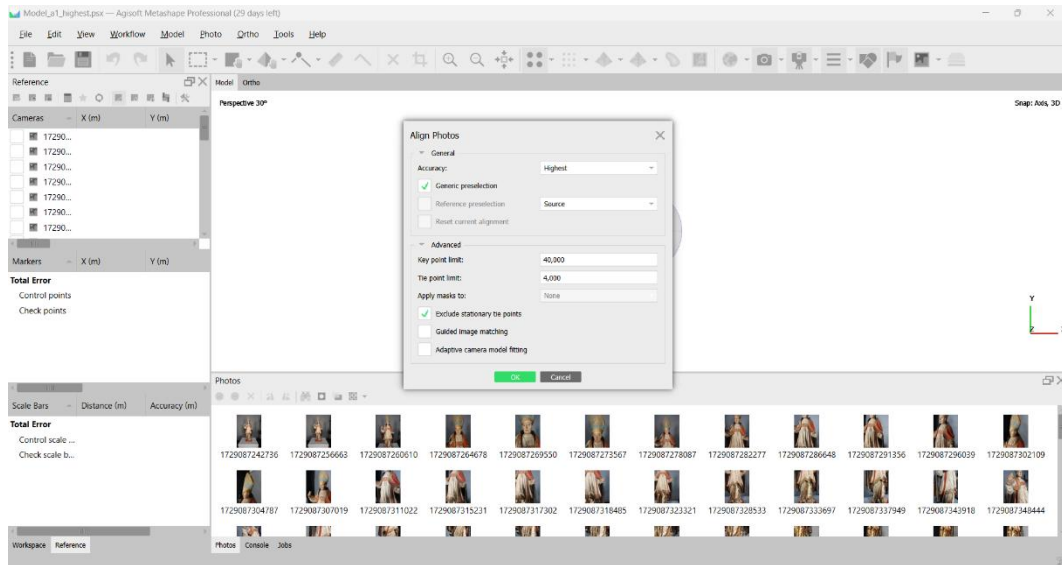
Fonte: autor

Figura 29 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: alinhamento das fotografias



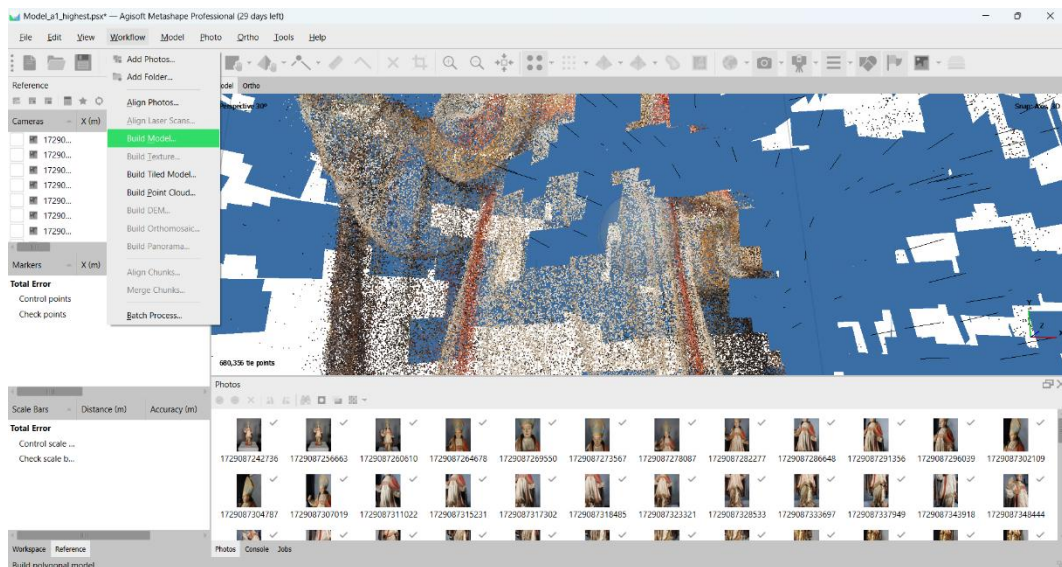
Fonte: autor

Figura 30 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: alinhamento das fotografias (seleção da precisão)



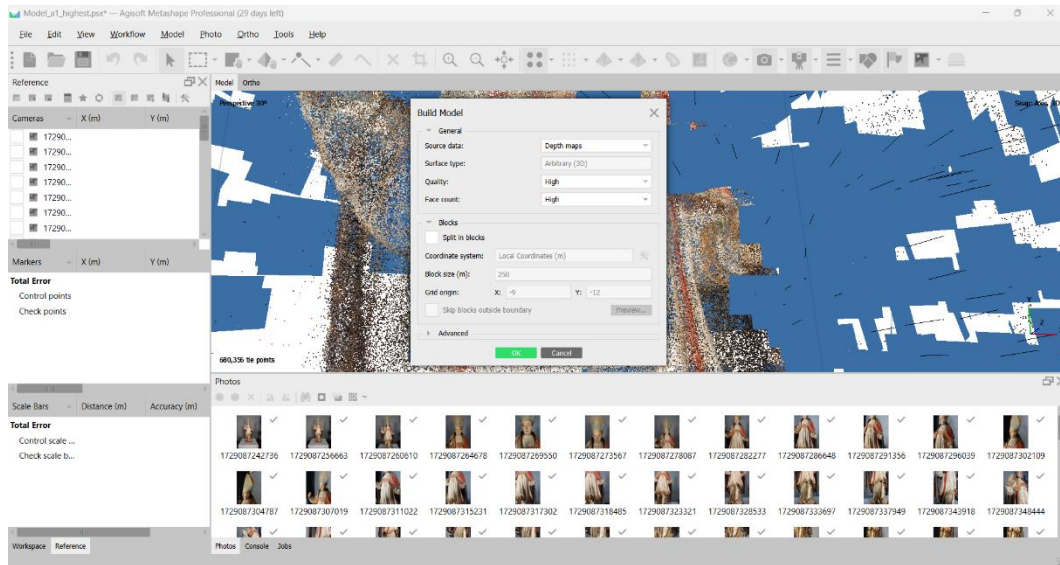
Fonte: autor

Figura 31 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção do modelo tridimensional



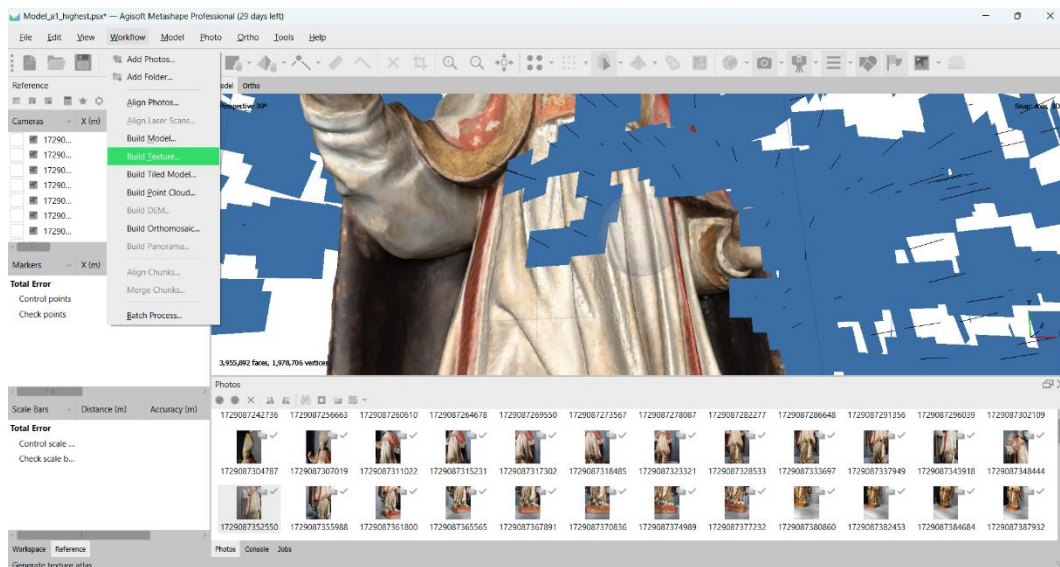
Fonte: autor

Figura 32 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção do modelo tridimensional (seleção da precisão)



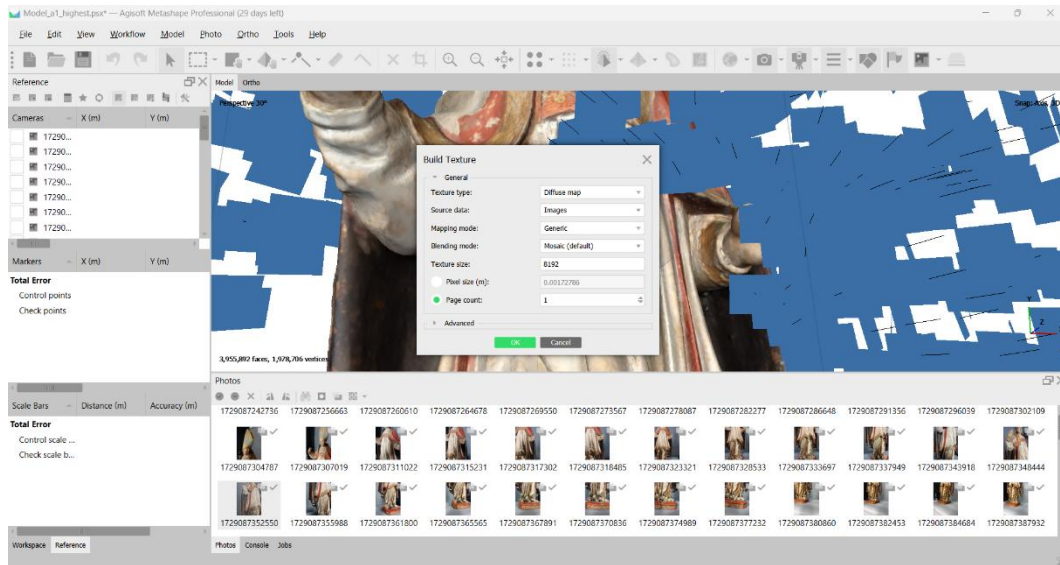
Fonte: autor

Figura 33 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção da textura



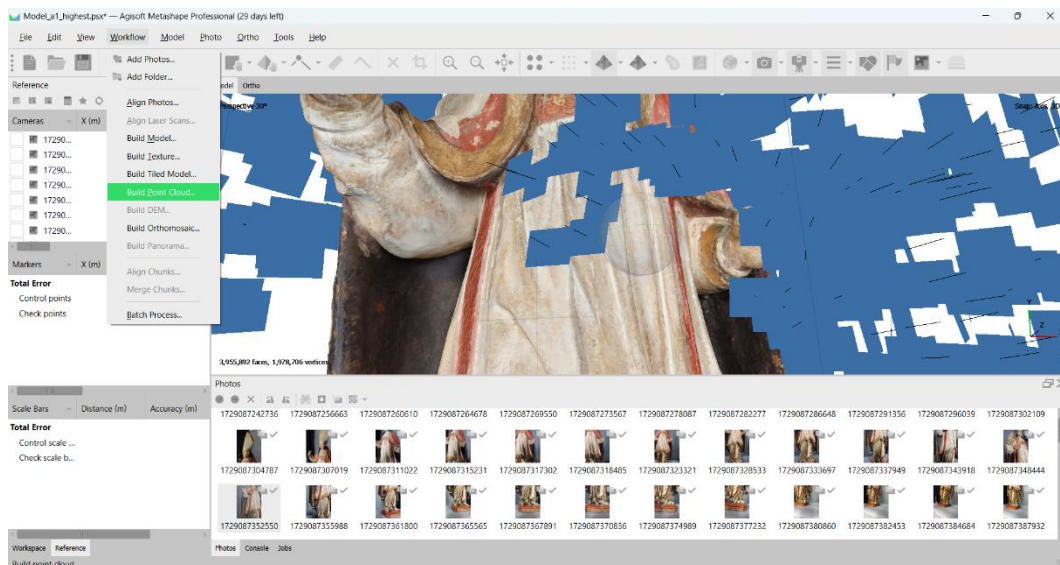
Fonte: autor

Figura 34 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção da textura (seleção da precisão)



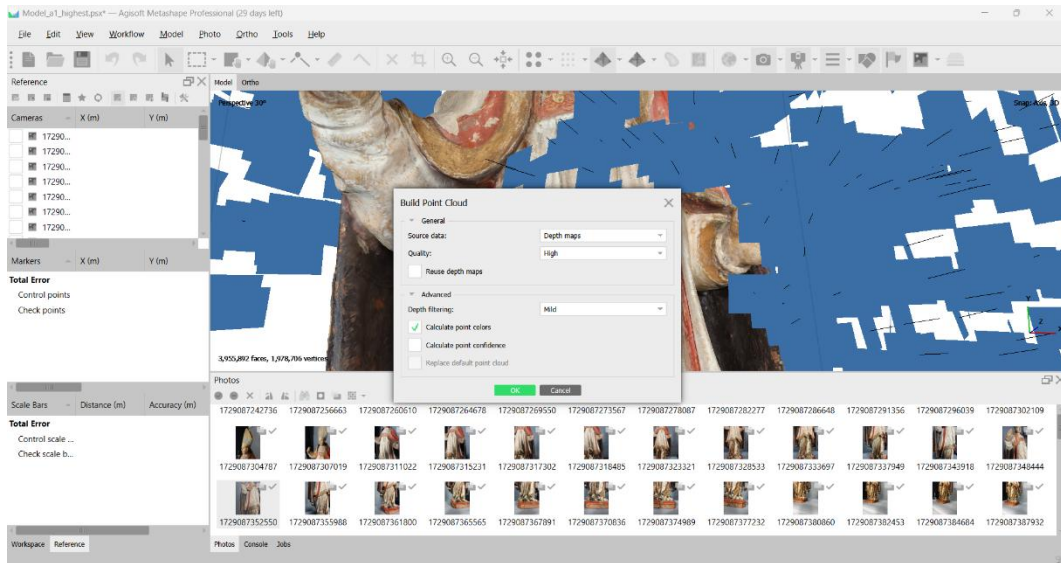
Fonte: autor

Figura 35 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção da nuvem de pontos



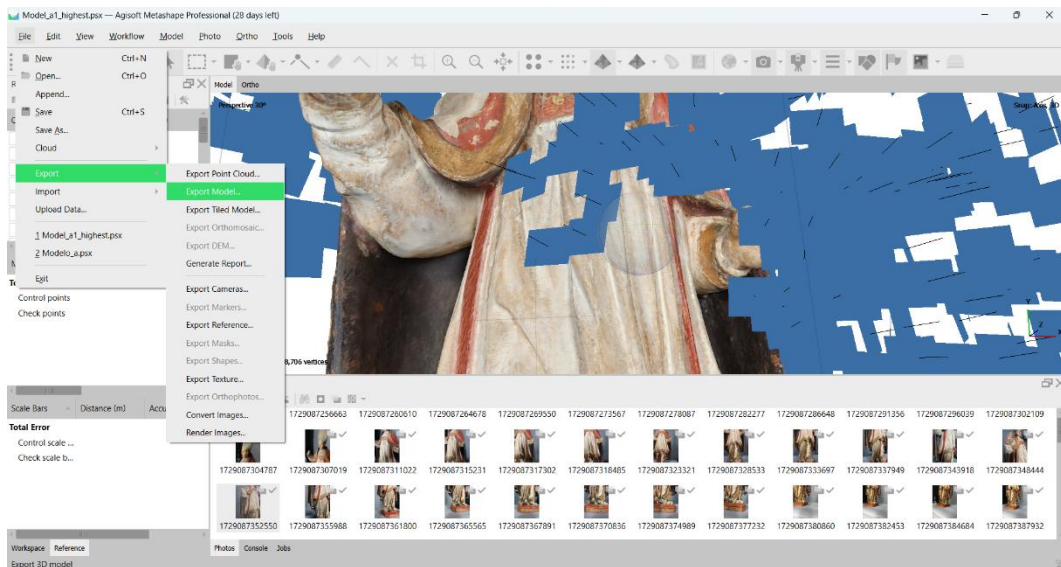
Fonte: autor

Figura 36 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: construção da nuvem de pontos (seleção da precisão)



Fonte: autor

Figura 37 - Fluxo de trabalho do *Metashape*: exportação do modelo



Fonte: autor

Figura 38 - Evolução do processamento do modelo ao longo do fluxo de trabalho do *Metashape*: nuvem de pontos esparsa, nuvem de pontos densa, malha, volume, modelo sombreado, modelo texturizado



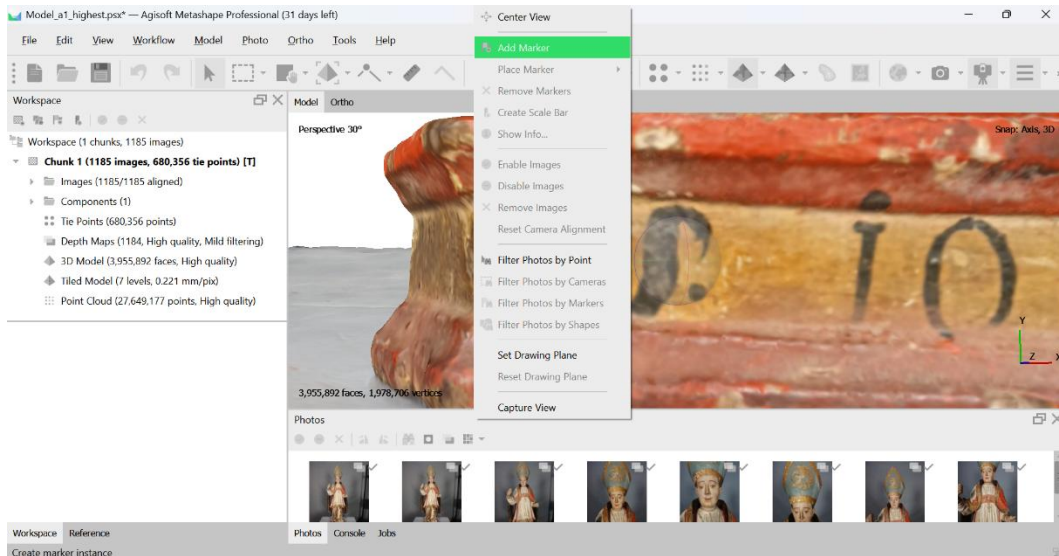
Fonte: autor

Após o processamento de cada uma das fases do fluxo de trabalho, é possível mensurar a precisão gráfica do modelo tridimensional gerado a partir da dimensão do *pixel*, que é indicada em milímetros na aba “espaço de trabalho”. Porém, é preciso atentar-se para a escala do modelo, que deve ser compatível com a escala real do objeto. O ajuste da escala do modelo pode ser feito em qualquer fase do fluxo de trabalho e deve se basear em uma referência.

No caso da escultura de São João Marcos, a escala foi configurada ao fim de todas as fases do processamento e a partir das dimensões do bloco referente à base, por se tratar da parte da escultura em que há mais linhas e ângulos retos, facilitando a medição.

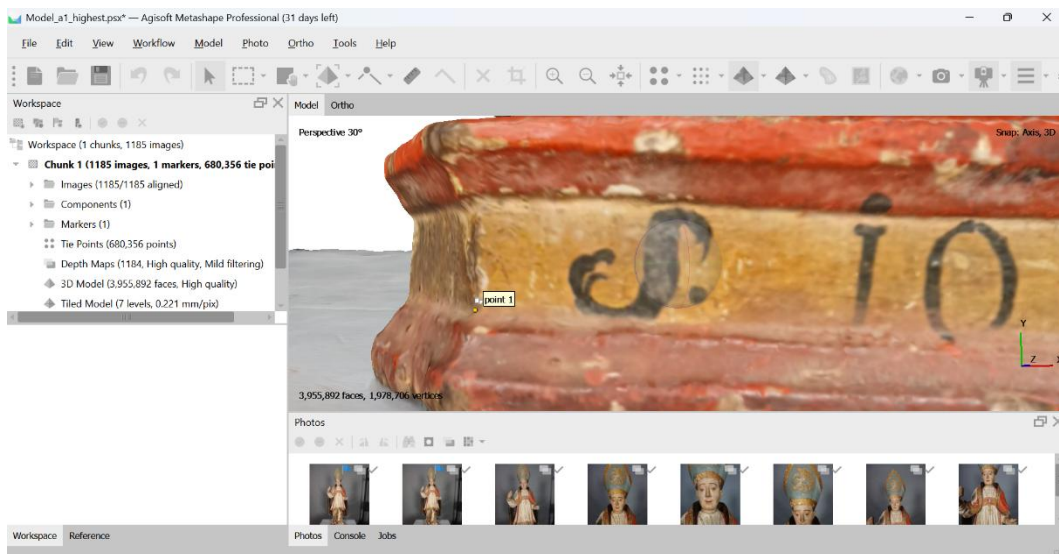
Depois de posicionar o modelo de uma forma que fique visível a área da escultura da qual se conhece as dimensões, é preciso clicar com o botão direito do *mouse* sobre um vértice e selecionar a opção “*Add marker*” (figura 39 e 40). Este processo deve ser feito mais uma vez (figura 41), para que seja possível ligar um ponto ao outro, formando uma reta. Com os dois pontos marcados, ao selecionar o menu “*Add scale bar*” (figura 42), localizado acima à esquerda da aba “*Workspace*”, uma reta é criada. Esta reta atua como uma barra de referência para o ajuste da escala, já que, na aba “*Reference*”, com a reta selecionada, basta digitar a distância real (em metros) entre os pontos na lacuna “*Distance*” e teclar “*Enter*” (figura 43). Desta forma, a escala do modelo passa a corresponder à escala do objeto real.

Figura 39 - Interface do *Metashape*: escala do modelo (marcação do primeiro ponto)



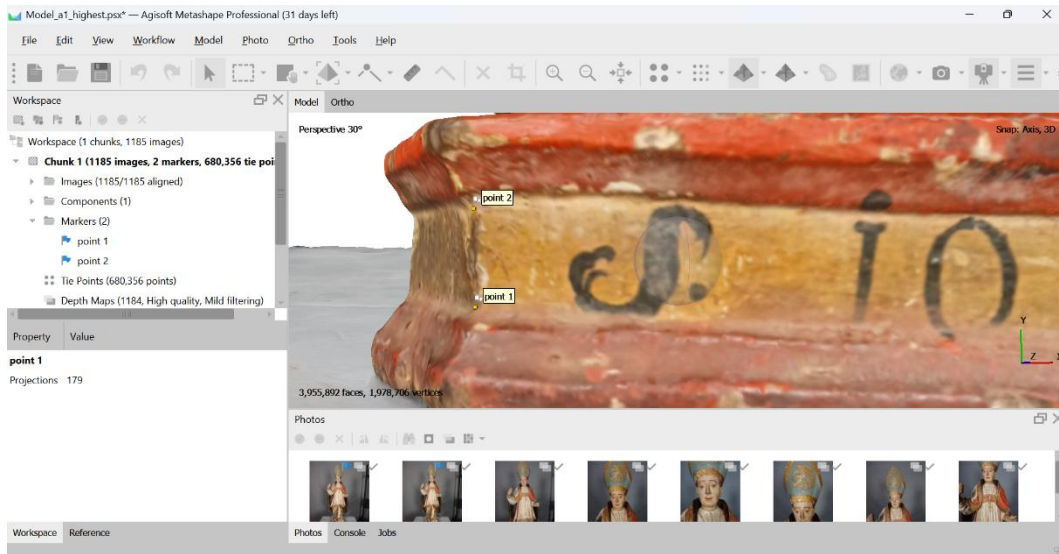
Fonte: autor

Figura 40 - Interface do *Metashape*: escala do modelo (localização do primeiro ponto)



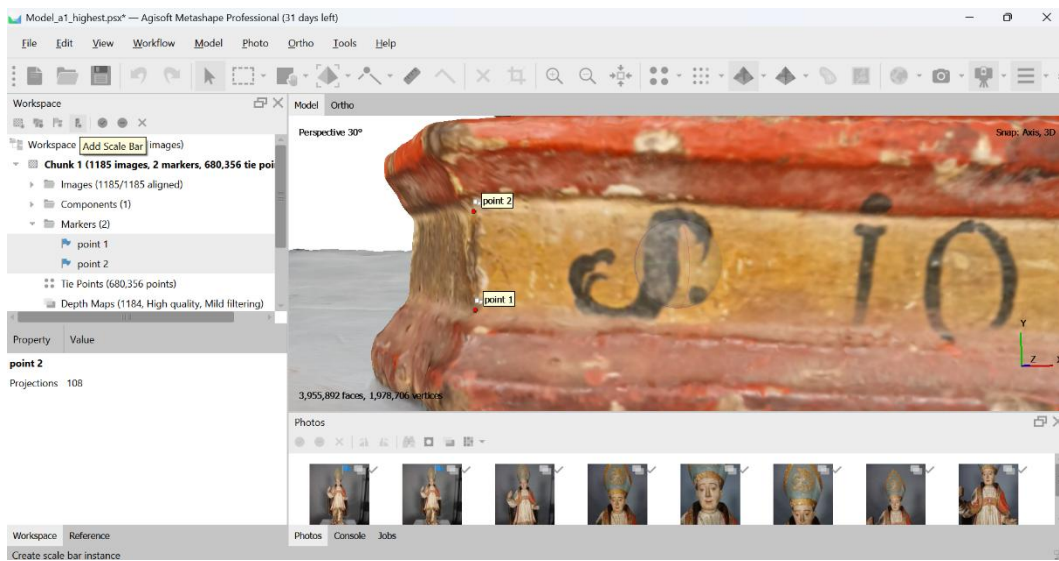
Fonte: autor

Figura 41 - Interface do *Metashape*: escala do modelo (localização do segundo ponto)



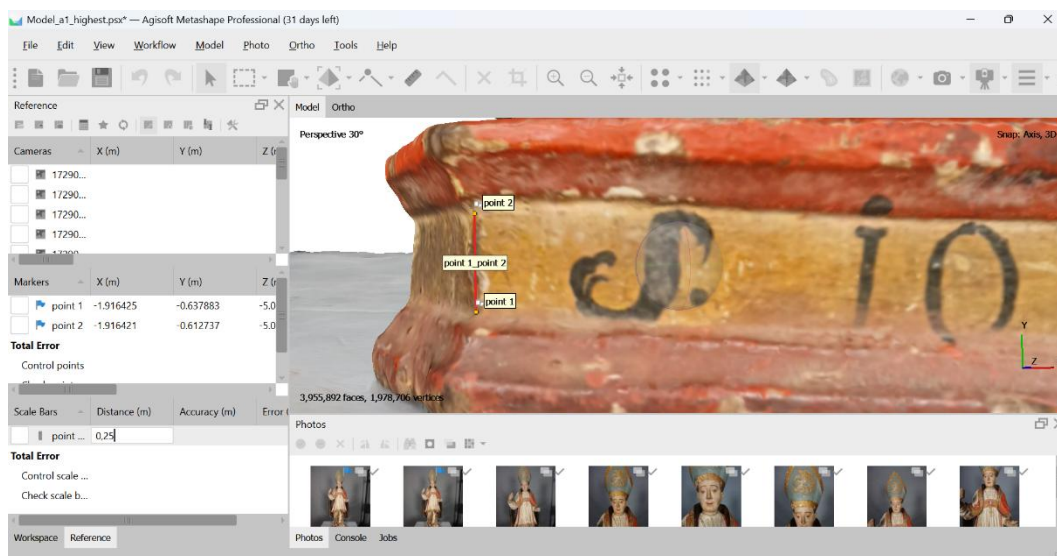
Fonte: autor

Figura 42 - Interface do *Metashape*: escala do modelo (seleção de ambos os pontos)



Fonte: autor

Figura 43 - Interface do *Metashape*: escala do modelo (definição da distância entre os dois pontos)



Fonte: autor

Para fins comparativos, os dados gerados em cada fase do processamento de cada um dos dez modelos foram listados em tabelas. E, ao relacioná-los, observou-se que todas as imagens capturadas em todos os levantamentos fotográficos foram alinhadas (tabelas 1 e 2), o que indica que a metodologia de levantamento fotográfico atendeu às exigências do *software*; a quantidade de pontos da nuvem de pontos densa não está diretamente relacionada à precisão de alinhamento das fotografias, mas à quantidade de fotografias alinhadas (tabela 3); da mesma forma, a quantidade de vértices da malha (tabela 4) e a quantidade de faces do modelo (tabela 5) não estão relacionadas à precisão de alinhamento das fotografias, mas à quantidade de pontos da nuvem de pontos densa e à quantidade de vértices da malha, respectivamente.

É interessante observar que os modelos “*SJM_TsE_high*” e “*SJM_TcE_high*”, embora apresentem apenas uma diferença no processamento (as fotos do primeiro não passaram por correção de cor), demonstraram dados completamente diferentes relativos à quantidade de pontos da nuvem, de vértices da malha e de faces do modelo.

Concluindo esta análise, a dimensão do *pixel* variou pouco entre os modelos, mesmo que as condições de iluminação dos levantamentos fotográficos e a quantidade de fotos capturadas tenham sido bem diferentes entre si. Com dimensão do *pixel* variando entre 0,184 e 0,272 mm, todos os modelos gerados apresentaram boa qualidade de imagem, se a análise for baseada apenas nos critérios expostos nas tabelas.

Tabela 1 - Comparativo entre os dados de entrada (fotografias)

MODELO	Parte iluminada	Edição imagens	Quantidade de fotografias
<i>SJM_A_highest</i>	Anterior	Não	1185
<i>SJM_A_high</i>			
<i>SJM_A_medium</i>			
<i>SJM_B_highest</i>	Posterior		725
<i>SJM_B_high</i>			
<i>SJM_B_medium</i>			
<i>SJM_TsE_high</i>	Total	Sim	1334
<i>SJM_TcE_highest</i>			
<i>SJM_TcE_high</i>			
<i>SJM_TcE_medium</i>			

Fonte: autor

Tabela 2 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do alinhamento de fotos

MODELO	Quantidade de fotografias	Precisão do alinhamento	Fotografias alinhadas
<i>SJM_A_highest</i>	1185	Altíssima	1185
<i>SJM_A_high</i>		Alta	
<i>SJM_A_medium</i>		Média	
<i>SJM_B_highest</i>	725	Altíssima	725
<i>SJM_B_high</i>		Alta	
<i>SJM_B_medium</i>		Média	
<i>SJM_TsE_high</i>	1334	Alta	1334
<i>SJM_TcE_highest</i>		Altíssima	
<i>SJM_TcE_high</i>		Alta	
<i>SJM_TcE_medium</i>		Média	

Fonte: autor

Tabela 3 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento da nuvem

MODELO	Fotografias alinhadas	Precisão nuvem	Nuvem de pontos densa
<i>SJM_A_highest</i>	1185	Alta	27.649.177 pontos
<i>SJM_A_high</i>			27.746.075 pontos
<i>SJM_A_medium</i>			28.871.451 pontos
<i>SJM_B_highest</i>	725		18.150.089 pontos
<i>SJM_B_high</i>			18.006.072 pontos
<i>SJM_B_medium</i>			19.016.413 pontos
<i>SJM_TsE_high</i>	1334		29.320.323 pontos
<i>SJM_TcE_highest</i>			29.393.950 pontos
<i>SJM_TcE_high</i>			29.280.568 pontos
<i>SJM_TcE_medium</i>			30.727.793 pontos

Fonte: autor

Tabela 4 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento da malha

MODELO	Nuvem de pontos densa	Precisão malha	Malha tridimensional
<i>SJM_A_highest</i>	27.649.177 pontos	Alta	1.978.706 vértices
<i>SJM_A_high</i>	27.746.075 pontos		1.982.448 vértices
<i>SJM_A_medium</i>	28.871.451 pontos		1.999.576 vértices
<i>SJM_B_highest</i>	18.150.089 pontos		1.593.067 vértices
<i>SJM_B_high</i>	18.006.072 pontos		1.613.494 vértices
<i>SJM_B_medium</i>	19.016.413 pontos		1.639.705 vértices
<i>SJM_TsE_high</i>	29.320.323 pontos		2.442.719 vértices
<i>SJM_TcE_highest</i>	29.393.950 pontos		2.454.155 vértices
<i>SJM_TcE_high</i>	29.280.568 pontos		2.438.985 vértices
<i>SJM_TcE_medium</i>	30.727.793 pontos		2.497.118 vértices

Fonte: autor

Tabela 5 - Comparativo entre os dados obtidos a partir do processamento do modelo

MODELO	Malha tridimensional	Precisão modelo	Modelo tridimensional
<i>SJM_A_highest</i>	1.978.706 vértices	Alta	3.955.892 faces
<i>SJM_A_high</i>	1.982.448 vértices		3.963.695 faces
<i>SJM_A_medium</i>	1.999.576 vértices		3.997.306 faces
<i>SJM_B_highest</i>	1.593.067 vértices		3.184.404 faces
<i>SJM_B_high</i>	1.613.494 vértices		3.225.412 faces
<i>SJM_B_medium</i>	1.639.705 vértices		3.277.652 faces
<i>SJM_TsE_high</i>	2.442.719 vértices		4.883.700 faces
<i>SJM_TcE_highest</i>	2.454.155 vértices		4.906.363 faces
<i>SJM_TcE_high</i>	2.438.985 vértices		4.876.340 faces
<i>SJM_TcE_medium</i>	2.497.118 vértices		4.991.395 faces

Fonte: autor

Tabela 6 - Comparativo entre os dados de saída (resolução do modelo)

MODELO	Quantidade de fotografias	Modelo tridimensional	Dimensão do pixel
<i>SJM_A_highest</i>	1185	3.955.892 faces	0.221 mm/pix
<i>SJM_A_high</i>		3.963.695 faces	0.238 mm/pix
<i>SJM_A_medium</i>		3.997.306 faces	0.217 mm/pix
<i>SJM_B_highest</i>	725	3.184.404 faces	0.227 mm/pix
<i>SJM_B_high</i>		3.225.412 faces	0.229 mm/pix
<i>SJM_B_medium</i>		3.277.652 faces	0.272 mm/pix
<i>SJM_TsE_high</i>	1334	4.883.700 faces	0.192 mm/pix
<i>SJM_TcE_highest</i>		4.906.363 faces	0.203 mm/pix
<i>SJM_TcE_high</i>		4.876.340 faces	0.192 mm/pix
<i>SJM_TcE_medium</i>		4.991.395 faces	0.184 mm/pix

Fonte: autor

Diante da qualidade do modelo obtido a partir das fotografias capturadas no segundo levantamento, em que a escultura como um todo foi devidamente iluminada, optou-se por não criar um modelo a partir da combinação do modelo referente à parte anterior com o referente à parte posterior da escultura, ambos obtidos a partir das fotografias capturadas no primeiro levantamento. Isso se deu a fim de evitar falhas, já que o processo de junção é manual e sua precisão seria garantida pelo uso de pontos de controle³⁰ (figura 44) no momento do levantamento fotográfico, o que não foi feito.

Figura 44 - Exemplos de pontos de controle utilizados em fotogrametria



Fonte: <https://www.baseaerofoto.com.br/o-que-sao-os-pontos-de-controle-em-solo/>

Dentre os três modelos obtidos a partir do segundo levantamento fotográfico com correção de cor (“*SJM_TcE_highest*”, “*SJM_TcE_high*”, “*SJM_TcE_medium*”), foi eleito para basear o mapa de danos o modelo cuja precisão de alinhamento de fotos foi a mais alta e a definição volumétrica foi a melhor, portanto, o modelo “*SJM_TcE_highest*”.

Sobre isso, é preciso apontar que, *a priori*, considerou-se a possibilidade de utilizar modelos de precisão inferior, já que não era possível prever o comportamento do *Metashape* diante da quantidade de fotos a serem processadas e das configurações de *hardware* às quais foi submetido.

Embora todas as etapas essenciais do processamento do modelo estivessem concluídas, ele não estava pronto para atuar como base para o mapa de danos. Foram observadas algumas deformações volumétricas – irregularidades na superfície de apoio da escultura (figura 45) e massas nas cúspides da mitra³¹ (figura 46) – que poderiam ser corrigidas a partir da

³⁰ No *Metashape*, os pontos de controle (*ground control points*) são pontos de referência conhecidos, cujas coordenadas precisas são determinadas no mundo real, com os seguintes objetivos: georreferenciamento, já que permitem alinhar o modelo gerado ao sistema de coordenadas reais; aumento de precisão, já que ajudam a melhorar a precisão geométrica do modelo, corrigindo possíveis erros de alinhamento das fotos ou distorções que possam ocorrer durante o processo de reconstrução digital; e validação de qualidade, já que podem ser usados para validar a precisão do resultado final, verificando o distanciamento entre as coordenadas do modelo e as posições reais dos pontos medidos. Para levantamento de terrenos e, muitas vezes, de edifícios, o uso de pontos de controle é essencial; porém, para objetos, eles se tornam opcionais.

³¹ Mitra trata-se de um paramento litúrgico, que consiste em uma cobertura de cabeça fendida, composta por duas peças rígidas de formato quase pentagonal, com abertura na parte inferior que permite que seja vestida na cabeça. Suas extremidades superiores são pontiagudas e, por isso, chamadas de “cornos” ou “cúspides”, e, na parte posterior, pendem-se duas faixas franjadas.

limpeza da nuvem de pontos, isto é, da remoção de pontos que ultrapassavam o limite da superfície do volume da escultura. Essas massas ou deformações volumétricas são resultado da ação do algoritmo do *software* que, em decorrência de insuficiência de iluminação voltada para a área ou de fotos da área, precisa criar formas de fechar o volume do objeto.

Figura 45 - Interface do *Metashape*: deformações volumétricas do modelo 3D (superfície)



Fonte: autor

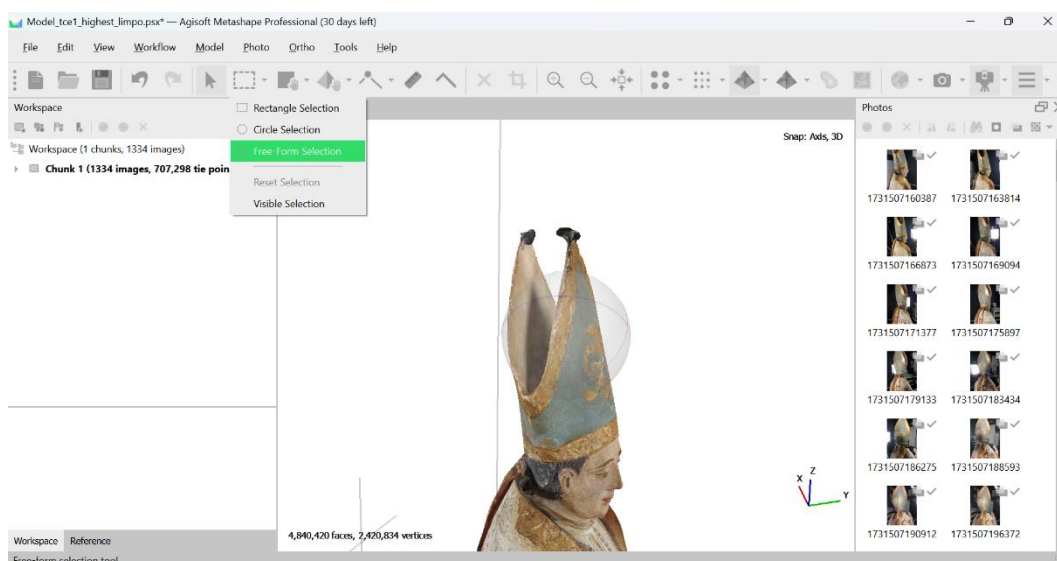
Figura 46 - Interface do *Metashape*: deformações volumétricas do modelo 3D (mitra)



Fonte: autor

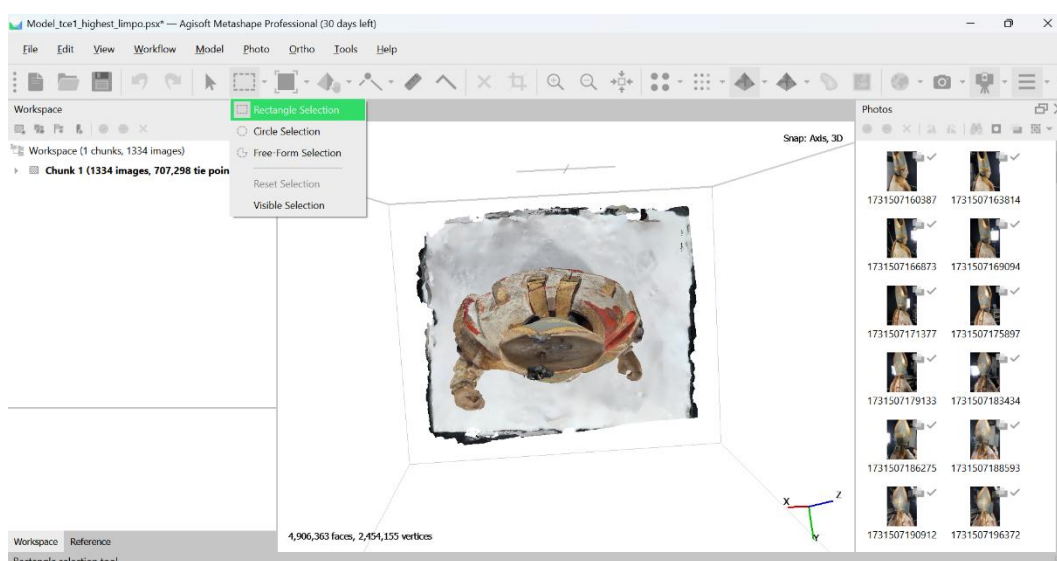
Para corrigir as deformações volumétricas, seria necessário reiniciar o processamento do modelo após o refinamento da nuvem de pontos. Assim, aproveitando esta necessidade, optou-se por limpar parcialmente a nuvem de pontos como um todo. Para isso, basta selecionar a nuvem de pontos, na aba “*Workspace*”, buscar pela ferramenta “*Selection*” (figura 47) – “*Rectangle selection*” (figuras 48, 49, 50 e 51), para seleção de áreas retangulares, ou “*Free form selection*” (figura 52), para seleção de áreas sem formato definido.

Figura 47 - Interface do *Metashape*: refinamento da nuvem de pontos (seleção de área)



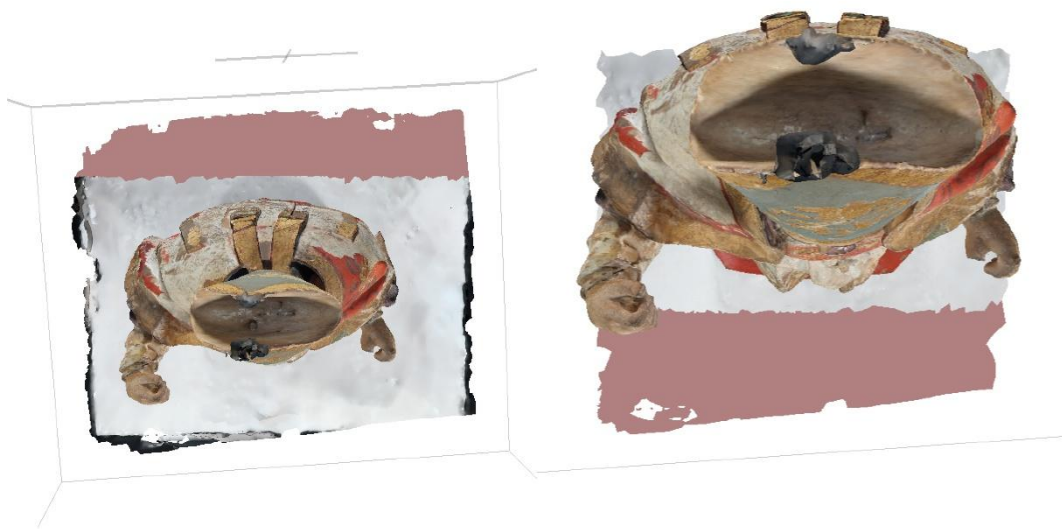
Fonte: autor

Figura 48 - Interface do *Metashape*: refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio)



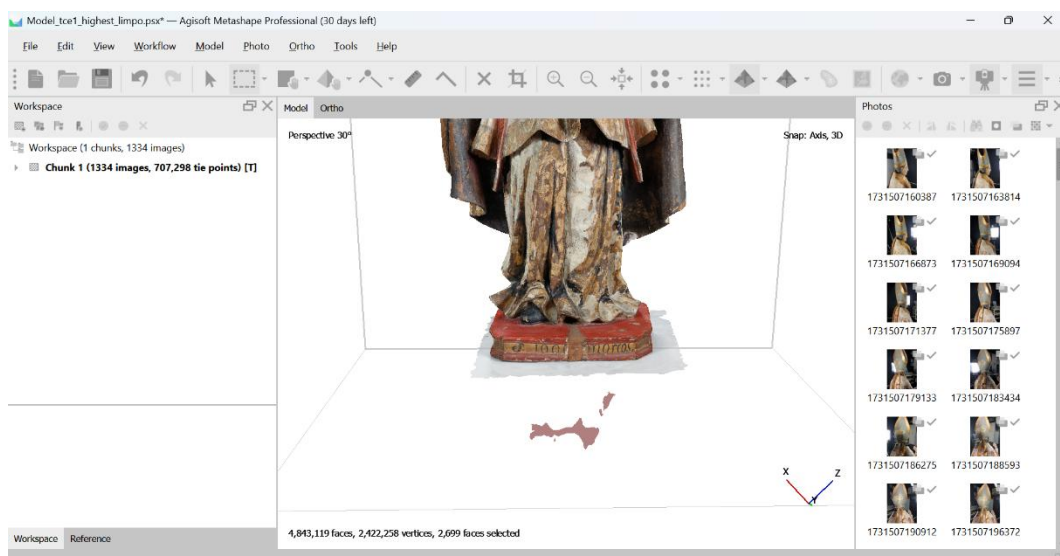
Fonte: autor

Figura 49 - Interface do *Metashape*: refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio)



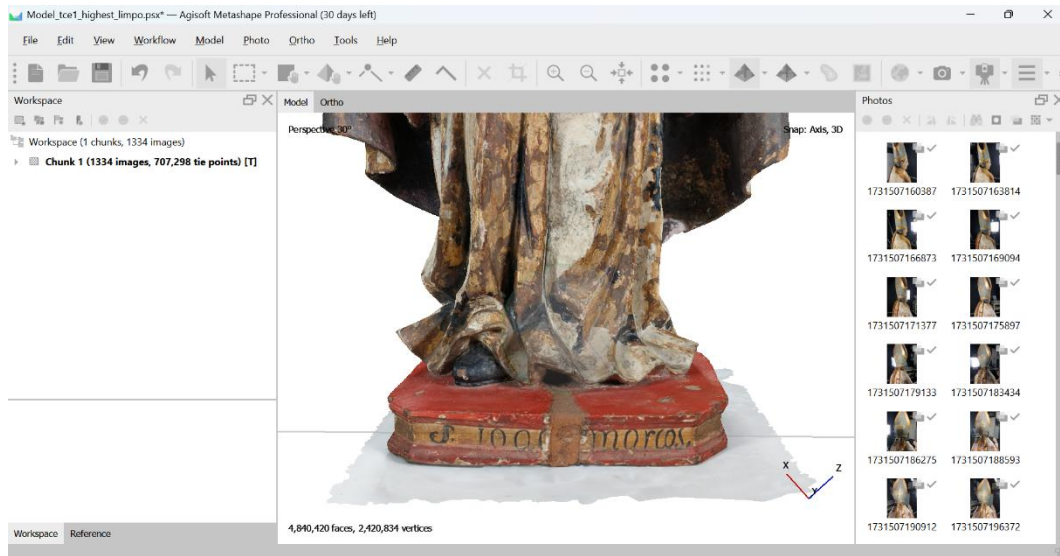
Fonte: autor

Figura 50 - Interface do *Metashape*: refinamento da nuvem de pontos (superfície de apoio)



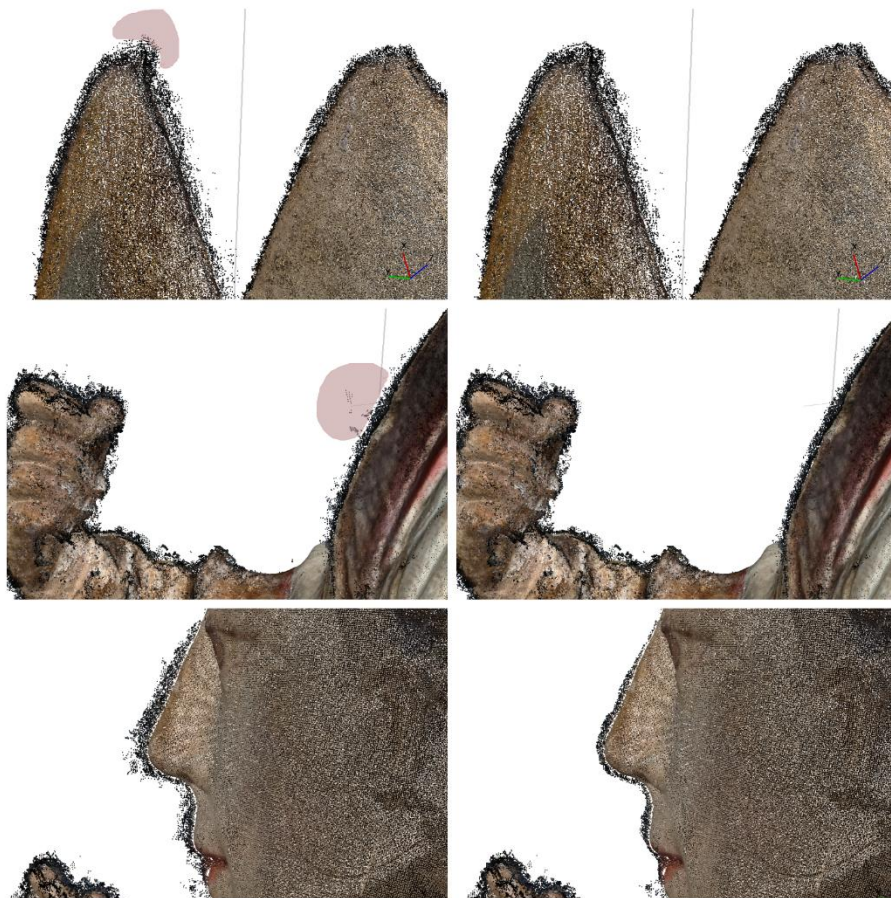
Fonte: autor

Figura 51 - Interface do *Metashape*: refinamento da nuvem de pontos (resultado)



Fonte: autor

Figura 52 - Comparação de trechos da nuvem de pontos antes (à esquerda) e depois (à direita) da limpeza parcial

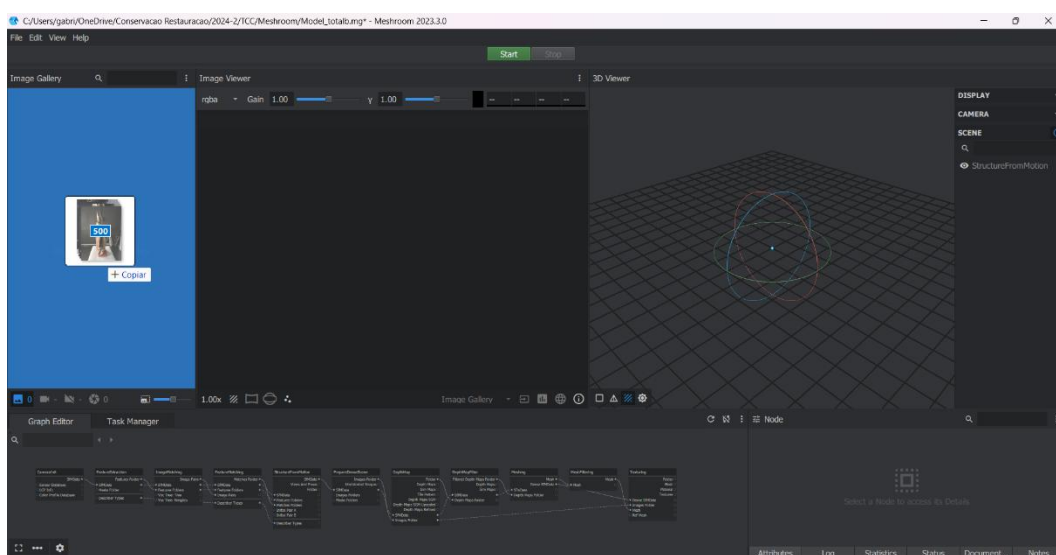


Fonte: autor

O processamento do modelo no *Metashape*, então, foi reiniciado a partir da fase de geração da malha tridimensional. Contudo, após analisar o novo modelo, observou-se que a limpeza da nuvem de pontos não foi suficiente para corrigir a deformação volumétrica formada nas cúspides da mitra de São João Marcos. Desta forma, optou-se por resolver a questão no *software* de edição de modelos 3D, aplicado na etapa de elaboração do mapa de danos.

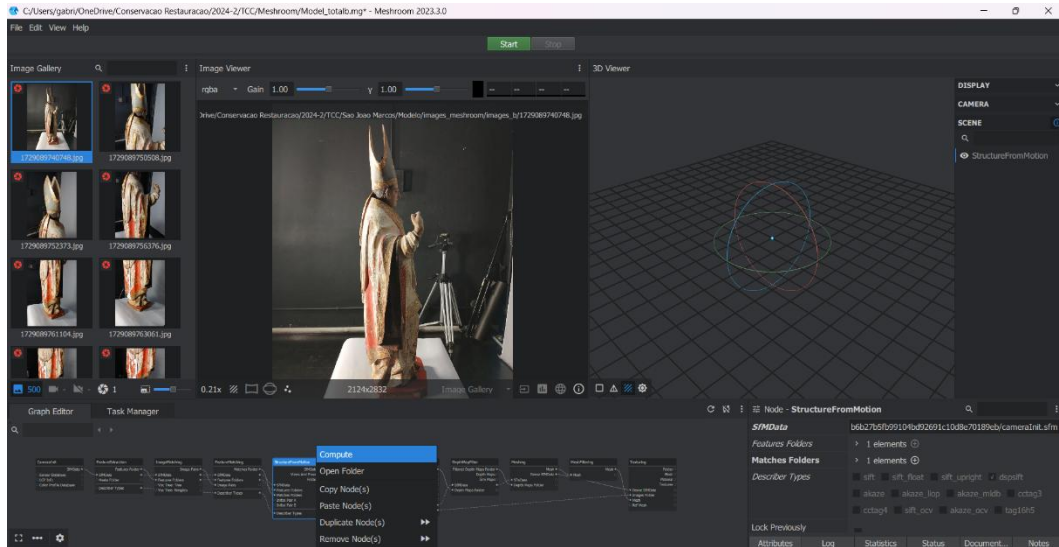
Retomando a questão da criação de modelos para fins comparativos, diante da disponibilidade de outros dois *softwares* de fotogrametria, *Meshroom* e *PhotoModeler*, foram realizadas tentativas adicionais de processamento (figuras 53, 54, 55 e 56). No entanto, estas tentativas foram malsucedidas (figura 57), visto que, o processamento da grande quantidade de fotografias foi limitado pelas configurações de *hardware* do computador disponível para o trabalho. Assim, mesmo após reduzir a quantidade e a qualidade das fotografias adicionadas para processamento, não foi possível gerar outros dois modelos digitais da escultura de São João Marcos.

Figura 53 - Fluxo de trabalho do *Meshroom*: adição das fotografias



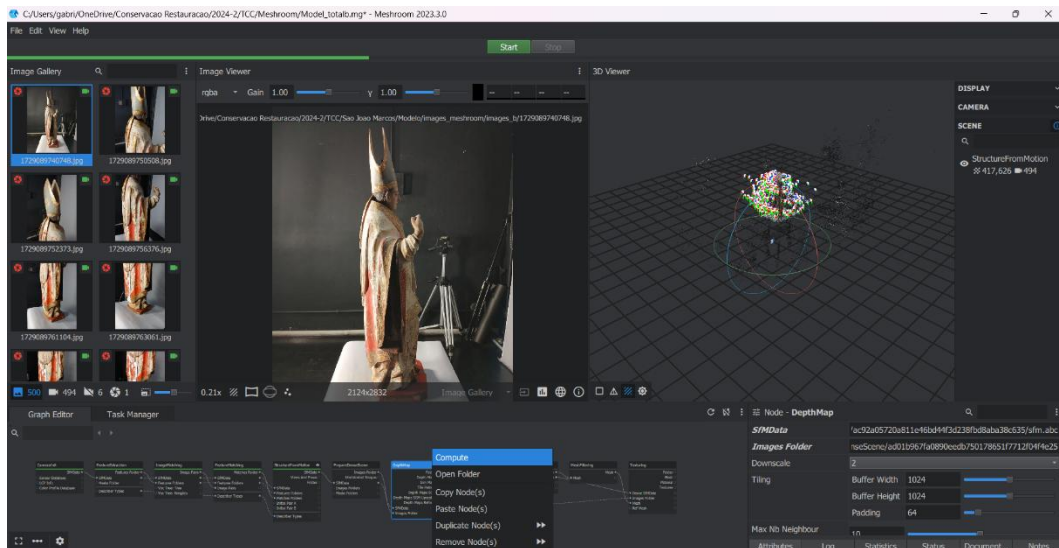
Fonte: autor

Figura 54 - Fluxo de trabalho do *Meshroom*: primeira fase do processamento



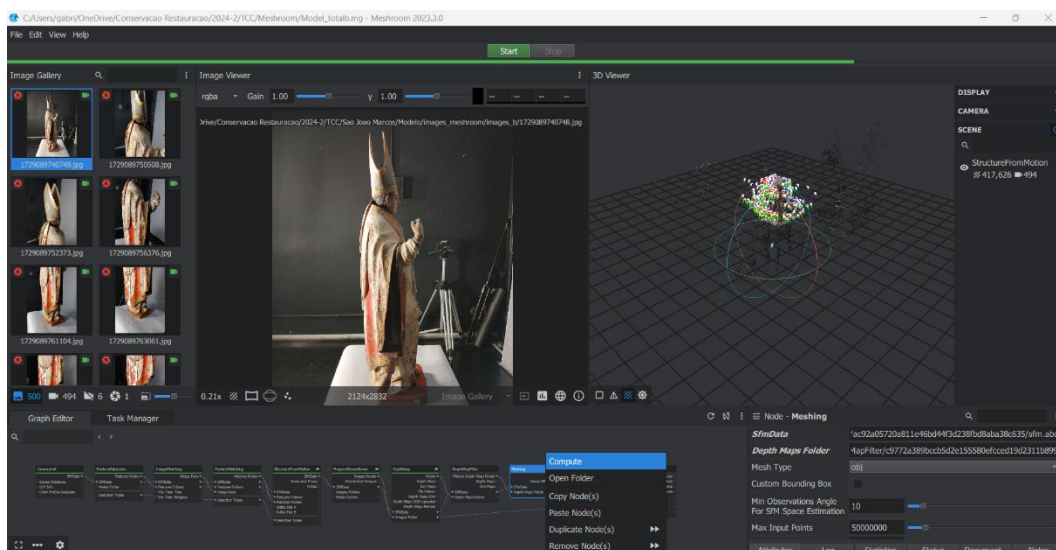
Fonte: autor

Figura 55 - Fluxo de trabalho do *Meshroom*: segunda fase do processamento



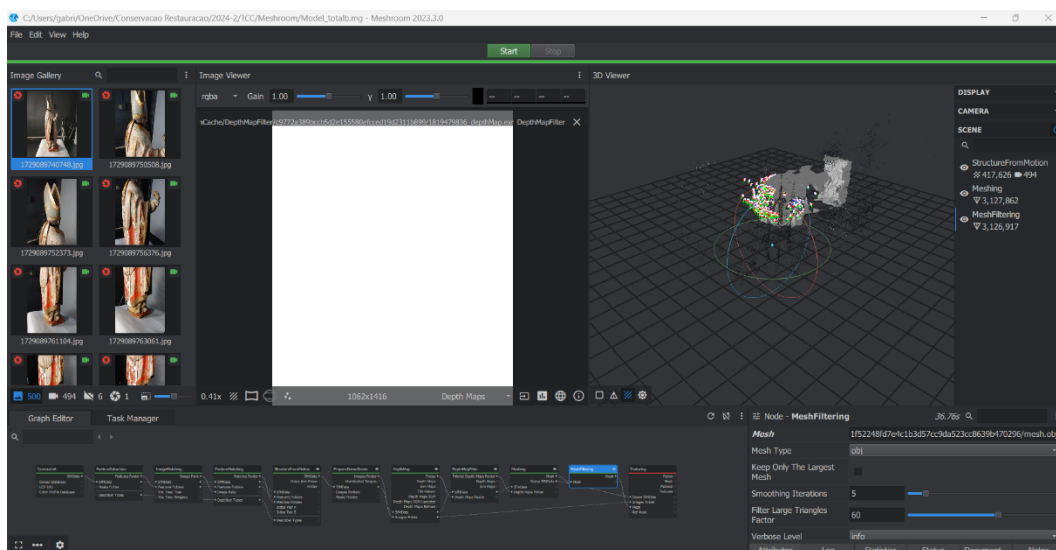
Fonte: autor

Figura 56 - Fluxo de trabalho do *Meshroom*: terceira fase do processamento



Fonte: autor

Figura 57 - Fluxo de trabalho do *Meshroom*: erro no processamento

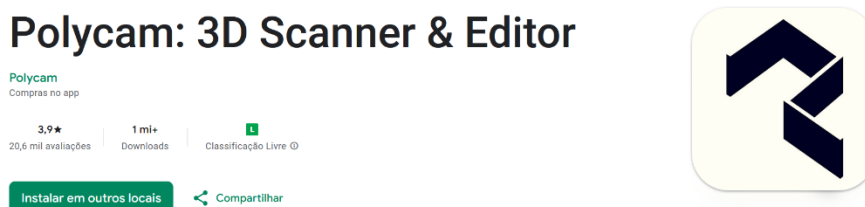


Fonte: autor

Apesar do insucesso das tentativas de processar o modelo 3D da escultura de São João Marcos em outros *softwares* e com o objetivo de oferecer outra possibilidade, mais acessível que o *Metashape*, propôs-se o uso do aplicativo *Polycam* (figura 58), disponível gratuitamente para dispositivos *Android* e *iOS*. Além de ter sido projetado para dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*) e de não exigir acesso a um computador, o *Polycam* apresenta um fluxo de trabalho mais simples e objetivo, exigindo menos conhecimento tecnológico por parte do

conservador-restaurador, ao mesmo tempo em que oferece recursos muito semelhantes e gera resultados de qualidade.

Figura 58 - Página para *download* do aplicativo *Polycam*



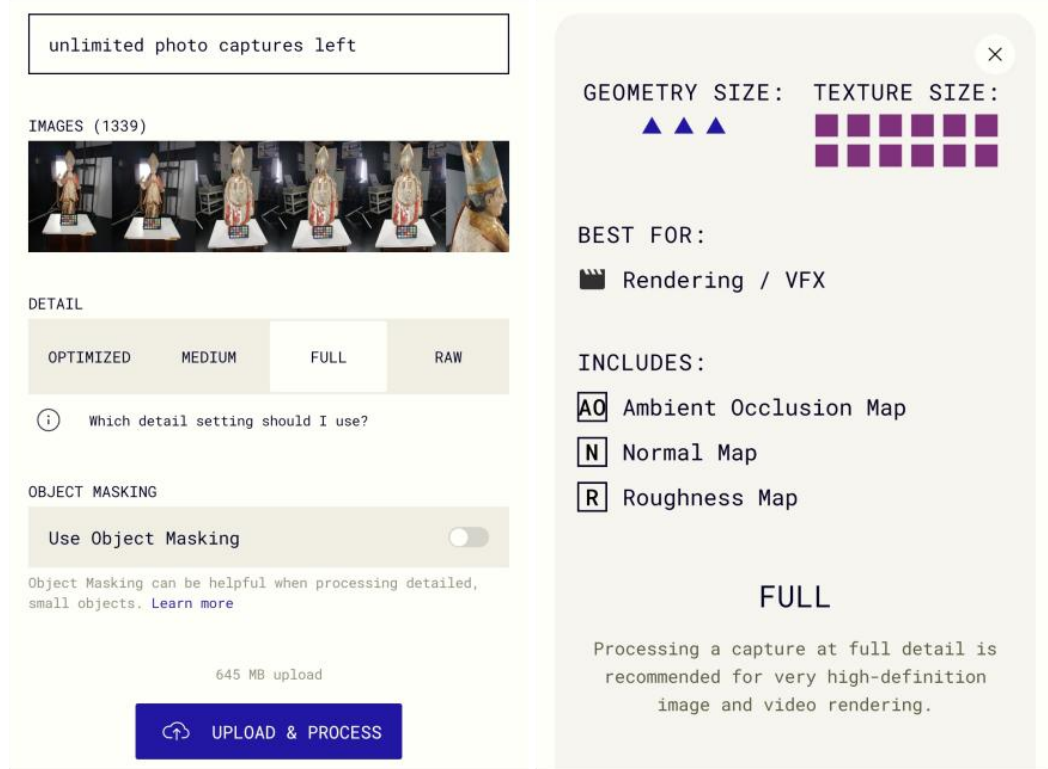
Fonte: https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.polycam&hl=pt_BR&pli=1

Como ferramenta de escaneamento tridimensional, que faz uso da fotogrametria para a criação de modelos de objetos e de espaços, o aplicativo *Polycam* oferece recurso de captura de fotos, além de permitir a importação de fotografias capturadas em outros aplicativos ou dispositivos, priorizando a velocidade do processamento e a estética final do modelo.

Para a geração de um modelo 3D, as fases do fluxo de trabalho são: **importação ou captura de fotografias**, que pode ser feita de diferentes formas, de acordo com o dispositivo utilizado (câmera de *smartphone*, *scanner* 3D ou LiDAR); **processamento de dados**, que é realizado pelos servidores do aplicativo, resultando no modelo tridimensional; **edição do modelo**, o que é feito diretamente no aplicativo e inclui corte (ajuste de limites e remoção de áreas), refinamento de texturas (melhora das cores e da resolução), escala (ajuste de dimensões), anotações (inserção de marcadores ou textos) e reprocessamento de dados (para correção de volume e textura); e, por fim, **exportação do modelo** em formatos diversos, para que, assim, possa ser utilizado para o seu fim ou importado em outro *software* para processamentos adicionais, como preparação para impressão 3D.

Além disso, por apresentar-se como uma plataforma *online*, é possível compartilhar o modelo resultante do processamento diretamente na galeria do *Polycam*, onde outros usuários podem explorar os modelos e, caso autorizados, fazer *download*.

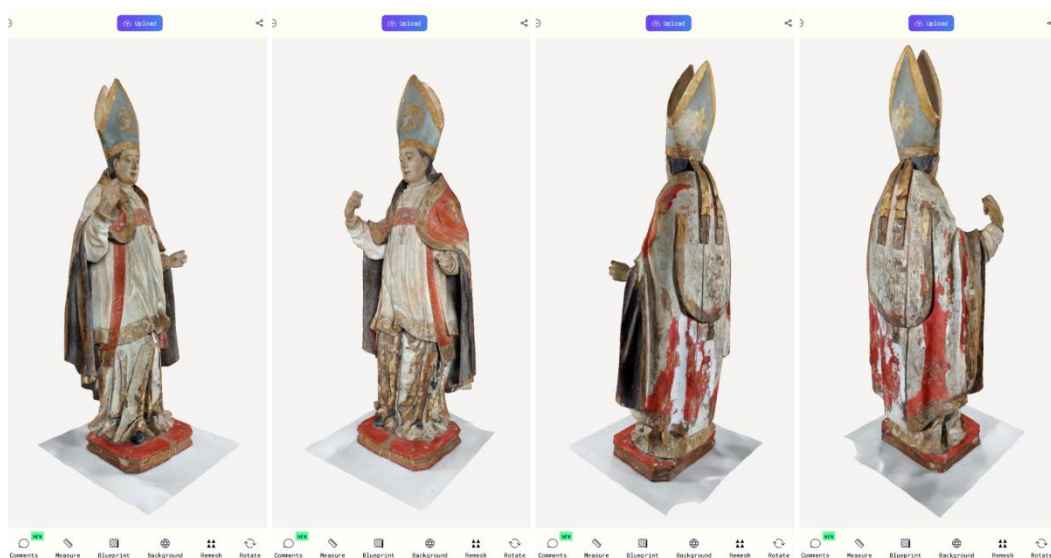
Para a criação do modelo 3D da escultura de São João Marcos a partir do *Polycam*, o fluxo de trabalho baseou-se na importação das fotografias capturadas no segundo levantamento e editadas no *RawTherapee*. O processamento foi feito pelos servidores do aplicativo com nível de detalhamento “*full*” (figura 59) e o modelo resultante passou por edição (corte da superfície de apoio e ajuste de escala) e foi disponibilizado na galeria com acesso restrito (figuras 60 e 61).

Figura 59 - Interface do *Polycam*: processamento das imagens

Fonte: autor

Figura 60 - Interface do *Polycam*: modelo 3D (detalhamento da malha)Fonte: <https://poly.cam/capture/49276aa7-d24d-44cc-8339-ffae0e560212>

Figura 61 - Interface do *Polycam*: perspectivas do modelo 3D



Fonte: <https://poly.cam/capture/49276aa7-d24d-44cc-8339-ffae0e560212>

3.3 Metodologia de elaboração do mapa de danos

A quarta etapa da metodologia consistiu na **elaboração do mapa de danos**. Para isso, deve-se analisar minuciosamente o estado de conservação da superfície da escultura, de forma a listar e caracterizar os danos observados. A análise da escultura de São João Marcos, portanto, se baseou nos relatórios produzidos por Cavalcante e Moura (2019), no TCC de autoria de Cavalcante (2021) e no TCC de autoria de Costa (2024).

É acertado afirmar que a escultura apresenta uma estratigrafia complexa, já que “a obra possuía uma camada de repintura que cobria uma policromia original, com técnicas de ornamentação bastante elaboradas” (Costa, 2024, p. 54), o que justificou a remoção parcial de camadas de repolicromia e de repintura, expondo detalhes decorativos de grande qualidade técnica. A figura a seguir representa os três momentos da escultura (figura 62): policromia, repolicromia e repintura.

Figura 62 - Ilustração dos três momentos, da esquerda para a direita: policromia, repolicromia e repintura



Fonte: Costa, 2024

Desta forma, se explica o atual estado de conservação da escultura, que pode ser caracterizada pela presença de lacunas³² nos três níveis citados (policromia, repolicromia e repintura). As origens destas lacunas são diversas, variando entre movimentação do suporte, perda de adesão entre as camadas da policromia, abrasão, remoção de repintura e de repolicromia, além de envelhecimento e oxidação de camadas de purpurina em regiões de douramento³³ e de craquelês³⁴ na carnação (Costa, 2024).

Diante da multiplicidade de danos observados no suporte e na policromia da escultura de São João Marcos e retomando o objetivo deste trabalho, que trata da elaboração de uma metodologia para documentação científica de esculturas em madeira policromada por meio de reconstrução digital e de mapa de danos tridimensional, fez-se necessário eleger uma tipologia de dano para ser representada. Assim, a partir da metodologia adotada para a representação deste tipo de dano, os outros danos podem ser analogamente representados.

Observou-se, então, que as áreas da escultura que sofreram perda de suporte poderiam ser classificadas em dois grupos: áreas que passaram por consolidação e áreas cujo suporte está ausente. Dentre as áreas que receberam intervenção, estão as partes anterior e posterior da base da escultura e a parte posterior inferior da capa pluvial³⁵; e, dentre as áreas cujo suporte se

³² Lacunas são falhas na policromia e podem ser classificadas como superficiais ou profundas. De acordo com Quites (2019), as lacunas de superfície, como o próprio nome indica, são mais superficiais e possuem maior capacidade de integração com o conjunto da policromia, visto que são perdas de veladuras, de camadas de ornamentação e de brilho das folhas metálicas; já as lacunas de profundidade promovem um desnível mais acentuado na superfície da escultura e se destacam visualmente, visto que expõem a característica branca apresentada pela maioria das bases de preparação da policromia ou o suporte da obra (a madeira).

³³ Douramento é uma técnica decorativa aplicada no estofamento (imitação de tecidos) da indumentária das esculturas em madeira, que consiste na aplicação de folhas de ouro sobre uma camada de bolo armênio, que serviu para homogeneizar a superfície, de forma a se obter um revestimento metálico a ser ornamentado. A aplicação das folhas de ouro pode ser feita a partir de técnicas à base de água ou de mordente (verniz oleoso), de forma integral ou espaçada (em reservas). De forma semelhante, é realizado o prateamento, isto é, a fixação de folhas de prata. Sobre o douramento à base d'água, os pintores/douradores usavam técnicas de decoração como esgrafiado, pintura a pincel, punções, relevos ou *pastiglio*, ranhuras ou incisões, aplicação de lacas ou veladuras; e técnicas de acabamento, como vernizes (Rosado e Quites, 2015).

³⁴ Craquelês, também chamados de “estalados”, são uma rede de pequenas fendas ou fissuras que se formam na superfície da camada pictórica, da policromia ou da camada de proteção (como verniz, por exemplo). As causas para o surgimento de craquelês estão relacionadas a restrições mecânicas da camada, que podem decorrer de fatores técnicos e materiais (Cardeira, 2017), como: variações de temperatura e umidade, que aceleram ou retardam a secagem; tensões provocadas por estresse mecânico da camada; e envelhecimento do material. Os padrões formados pela rede de craquelês podem fornecer informações sobre o material utilizado, os conhecimentos técnicos do artista e as condições de conservação às quais a obra esteve submetida.

³⁵ Capa pluvial ou capa de asperges trata-se de uma veste ou um paramento litúrgico, que consiste em um pano que cobre os ombros e as costas de padres, diáconos e bispos, em celebrações católicas das quais não faz parte a eucaristia, como procissões, batismos e casamentos fora da igreja, benções e aspersões.

encontra ausente, estão as laterais direita e esquerda da capa, a extremidade inferior do lado direito da estola³⁶ e os blocos referentes aos dedos da mão esquerda da figura humana.

A identificação da tipologia de dano “perda de suporte” significaria o uso de duas cores ou texturas diferentes aplicadas sobre o modelo tridimensional (figura 63), tornando o mapa de danos mais interessante e representativo.

Figura 63 - Escultura de São João Marcos: áreas de perda de suporte



Fotografias: Cláudio Nadalin, 2023, acervo CECOR

Edição: autor

Para a criação do mapa de danos a partir do modelo tridimensional, o modelo selecionado e editado foi exportado a partir do *Metashape* em quatro formatos diferentes, amplamente utilizados em modelagem e animação 3D: DAE, FBX, GLB e OBJ (que acompanha arquivo de textura MTL). No contexto deste trabalho, os formatos dos arquivos foram comparados quanto ao seu principal uso: o formato de extensão DAE é ideal para troca de dados entre *softwares*; o FBX, para filmes, jogos e animações complexas; o GLB, para

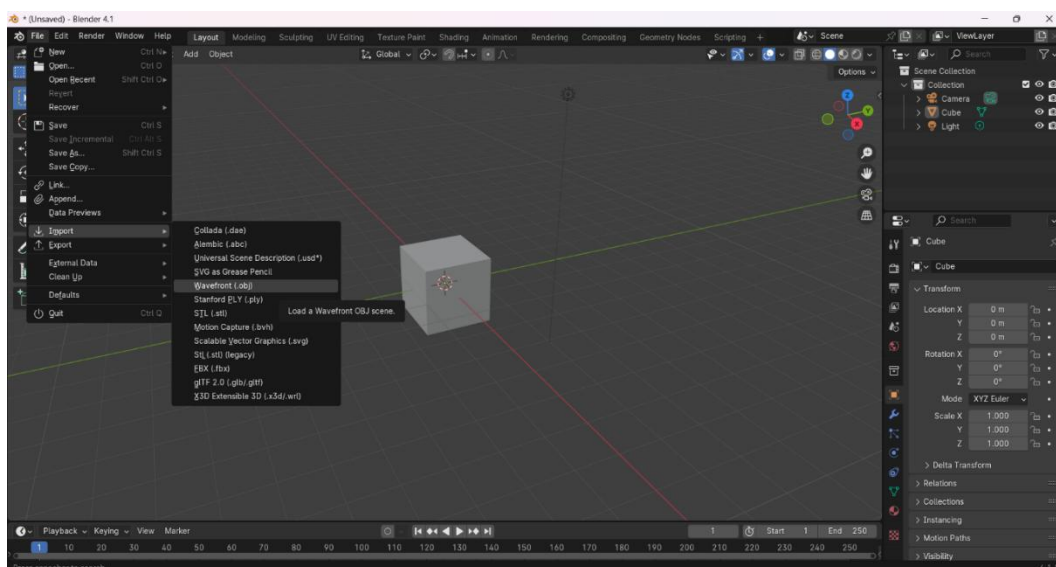
³⁶ Estola trata-se de um paramento litúrgico cristão, que consiste em uma faixa larga de pano usada pelos sacerdotes em torno do pescoço, que é pendurado sobre os ombros e pende ao lado dos braços. Suas cores e ornamentações fazem referência ao tempo litúrgico.

visualização em tempo real; e o OBJ, para modelos estáticos simples. Em suma, o formato ideal para visualização do arquivo em qualquer computador seria o GLB e, para compartilhamento em sites e plataformas *online*, o FBX.

Ao serem importados para o *Blender*³⁷, *software* de edição de modelos tridimensionais, o formato que melhor se apresentou – otimizando a qualidade e a quantidade de dados em relação ao tamanho do arquivo – foi o OBJ (figura 64). Portanto, o modelo exportado do *Metashape* neste formato foi importado e utilizado como base para o desenho do mapa de danos no *Blender* que, apesar de possuir uma curva íngreme de aprendizagem (Grafolin *et al.* 2020), oferece uma vasta gama de ferramentas de edição, texturização, sombreamento e modelagem.

Assim, para que o manuseio do modelo no *software* fosse facilitado, na aba “*Layout*”, ele foi posicionado na origem dos eixos X, Y e Z (figura 65) e, em seguida, movimentado e rotacionado para a posição correta (figuras 66 e 67).

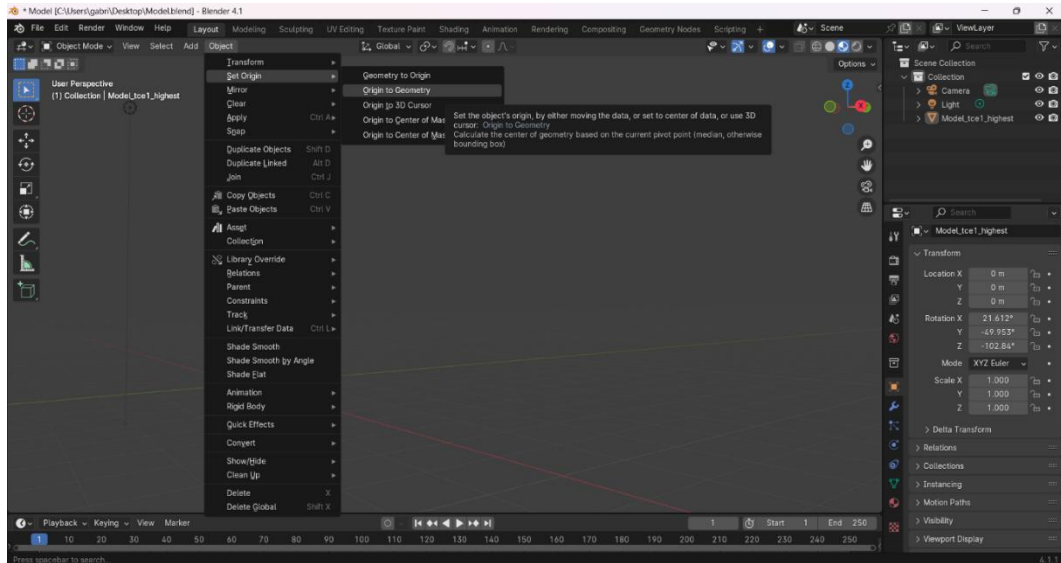
Figura 64 - Fluxo de trabalho do *Blender*: importação do modelo



Fonte: autor

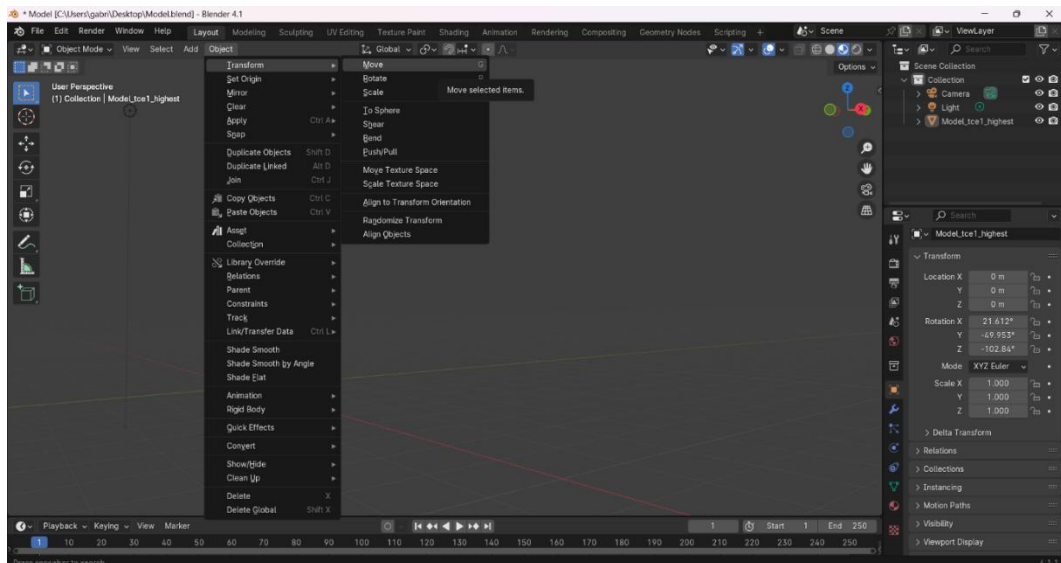
³⁷ *Blender* é um software de código aberto amplamente utilizado para criação 3D em áreas como modelagem, animação, texturização e pintura digital, escultura digital, efeitos visuais (VFX), renderização, edição de vídeo, desenvolvimento de jogos e realidade virtual. Como uma ferramenta versátil e acessível, apresenta diversos *plugins* e extensões criados pelos próprios usuários.

Figura 65 - Fluxo de trabalho do *Blender*: posicionamento do modelo na origem

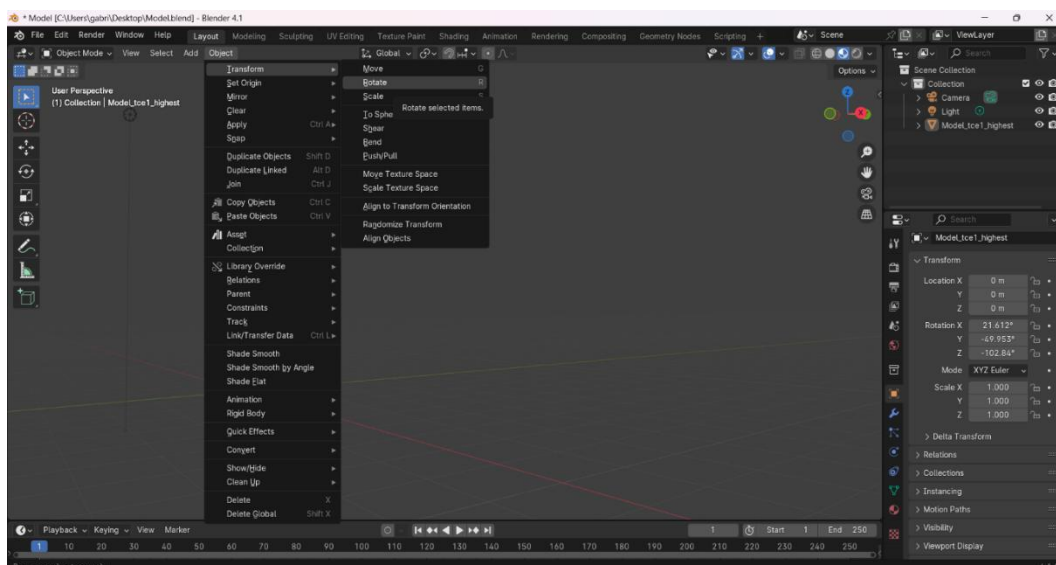


Fonte: autor

Figura 66 - Fluxo de trabalho do *Blender*: movimentação do modelo



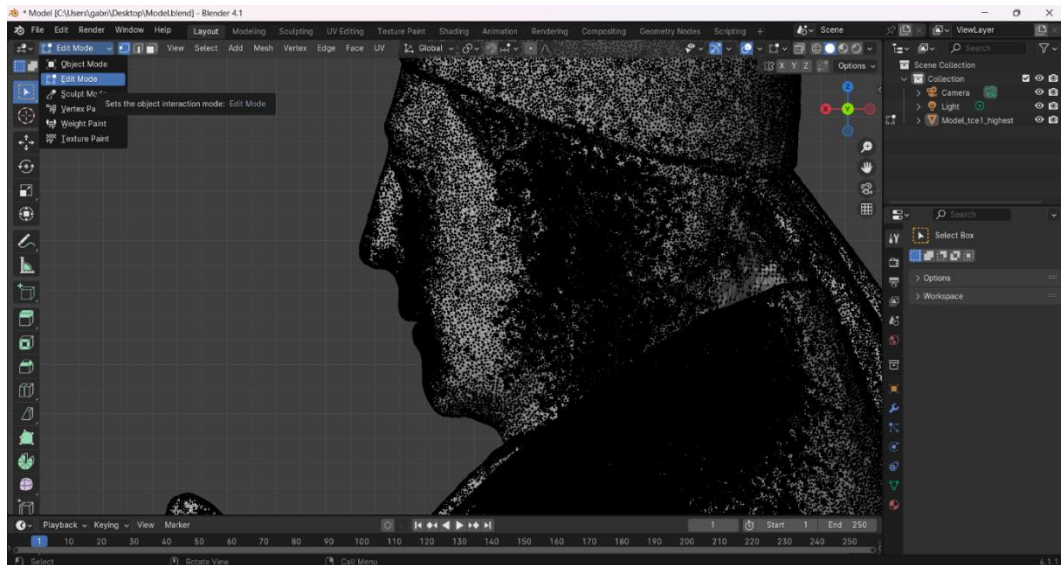
Fonte: autor

Figura 67 - Fluxo de trabalho do *Blender*: rotação do modelo

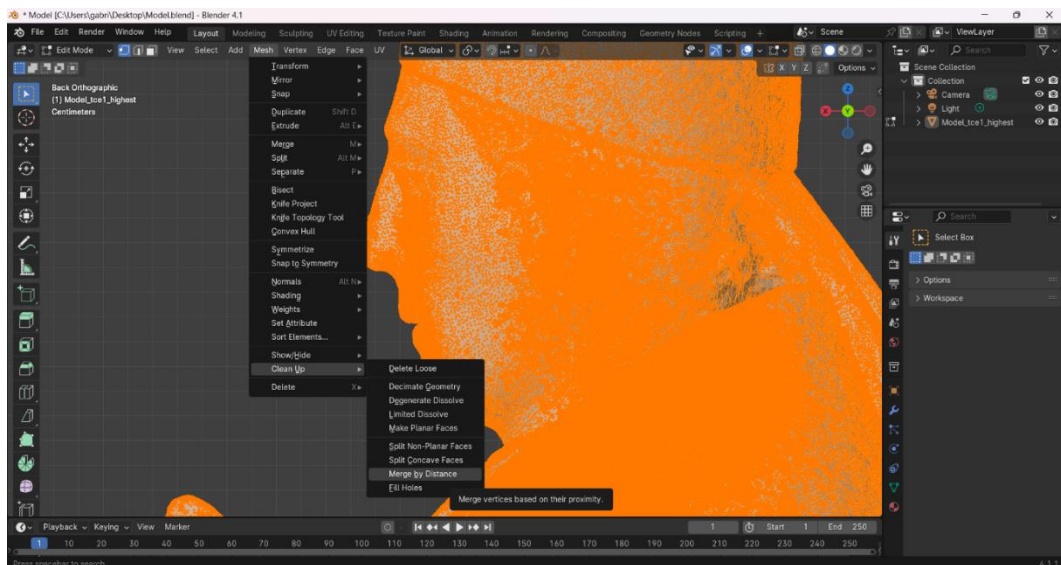
Fonte: autor

Com o modelo pronto para edição no *Blender*, a questão do refinamento do volume, que ficou pendente desde o *Metashape*, foi prioridade. Para isso, seria necessário suavizar a textura do modelo, com o objetivo de tornar sua aparência mais natural, reduzindo bordas visíveis entre os polígonos e eliminando irregularidades. Esta funcionalidade é muito útil para objetos ou partes de objetos de formato arredondado ou orgânico, que tendem a ficar facetados sem a suavização. No caso da escultura de São João Marcos, foi também útil para suavizar a geometria da superfície sobre a qual ela está posicionada.

Na aba “*Layout*”, basta entrar no modo “*Edit*”, selecionar o modelo como um todo (figura 68) e, no menu “*Mesh*”, a opção “*Clean up*” e a opção “*Merge by distance*” (figura 69); já na caixa de diálogo, digitar a medida de distância “0.0001 m” e teclar “*Enter*” (figura 70). Por fim, com o botão direito do mouse, clicar no modelo e selecionar a opção “*Shade smooth*” (figura 71).

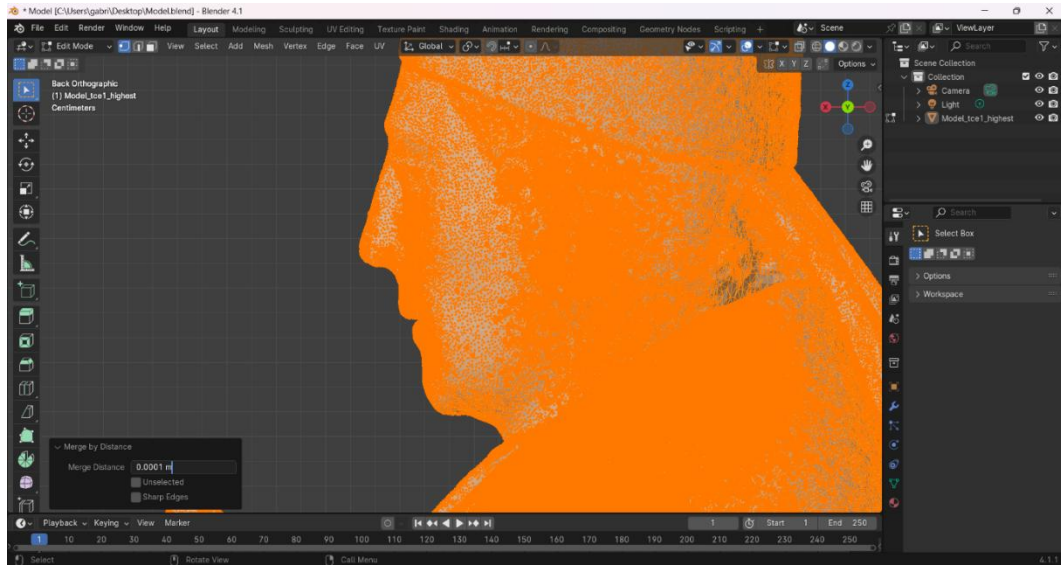
Figura 68 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da textura (seleção do modelo)

Fonte: autor

Figura 69 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da textura (limpeza e mesclagem de vértices)

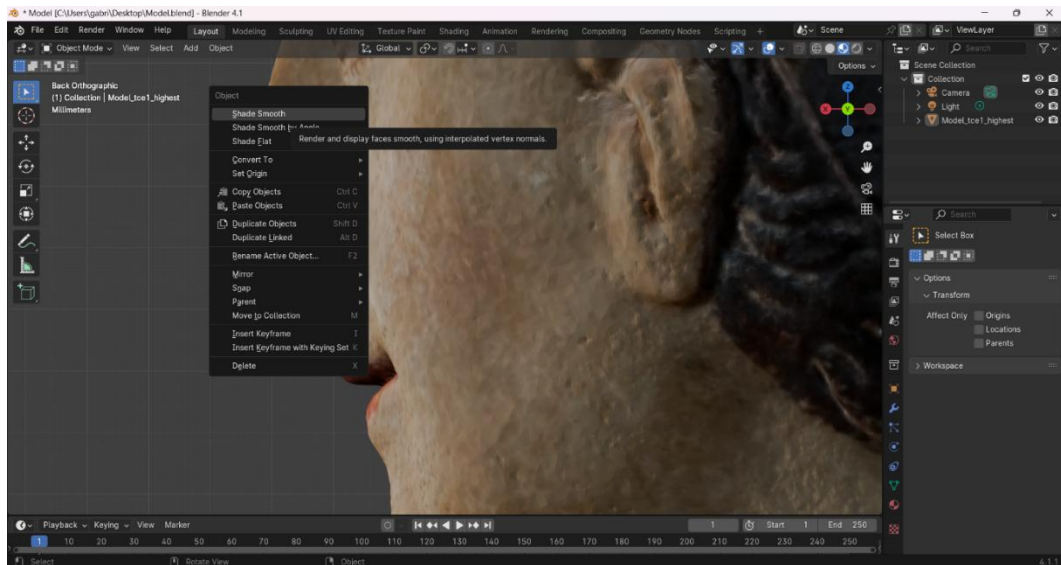
Fonte: autor

Figura 70 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da textura (limpeza e mesclagem de vértices)



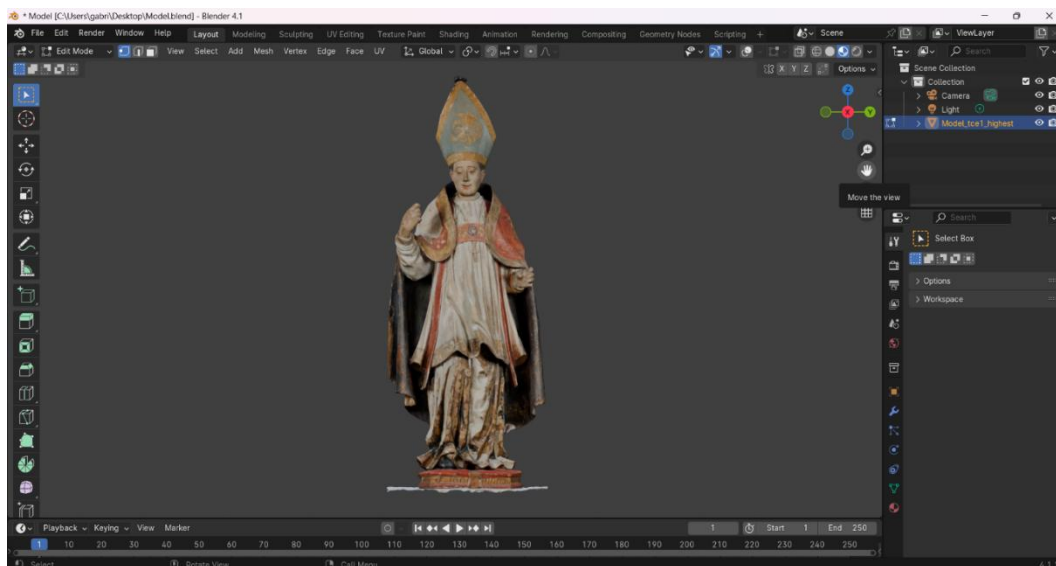
Fonte: autor

Figura 71 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da textura (suavização de sombras)



Fonte: autor

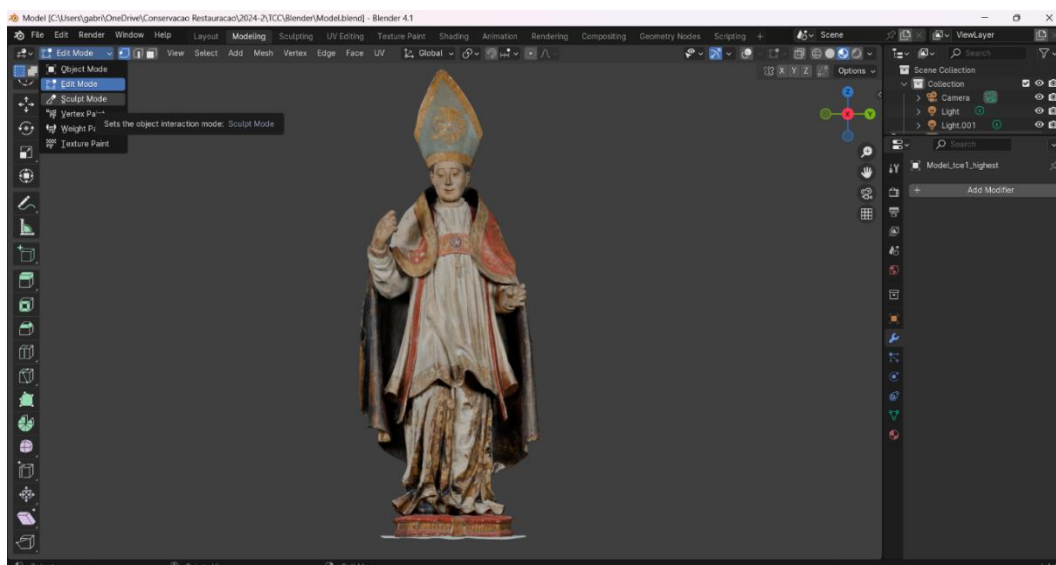
Figura 72 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da textura (resultado)



Fonte: autor

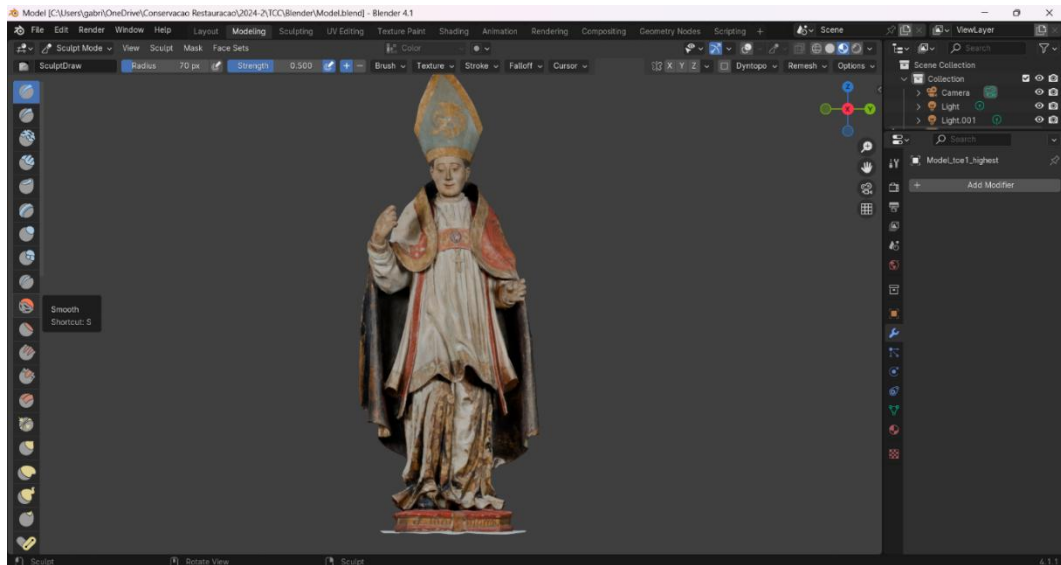
Em seguida, a deformação volumétrica das cúspides da mitra foi suavizada. Para isso, na aba “*Modeling*”, é preciso selecionar o modo “*Sculpt*” (figura 73) e, com a ferramenta “*Smooth*” (figura 74), cuja função é alisar e suavizar a superfície de um modelo 3D, corrigiu-se as irregularidades, criando uma transição suave entre as áreas esculpidas (figura 75). Para o uso desta ferramenta, em um contexto de documentação científica, é preciso ser cauteloso para não deformar o modelo digital e distanciá-lo da escultura real.

Figura 73 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da deformação volumétrica (seleção do modo)



Fonte: autor

Figura 74 - Fluxo de trabalho do *Blender*: suavização da deformação volumétrica (seleção da ferramenta)



Fonte: autor

Figura 75 - Deformação volumétrica antes (em cima) e depois (embaixo) da suavização

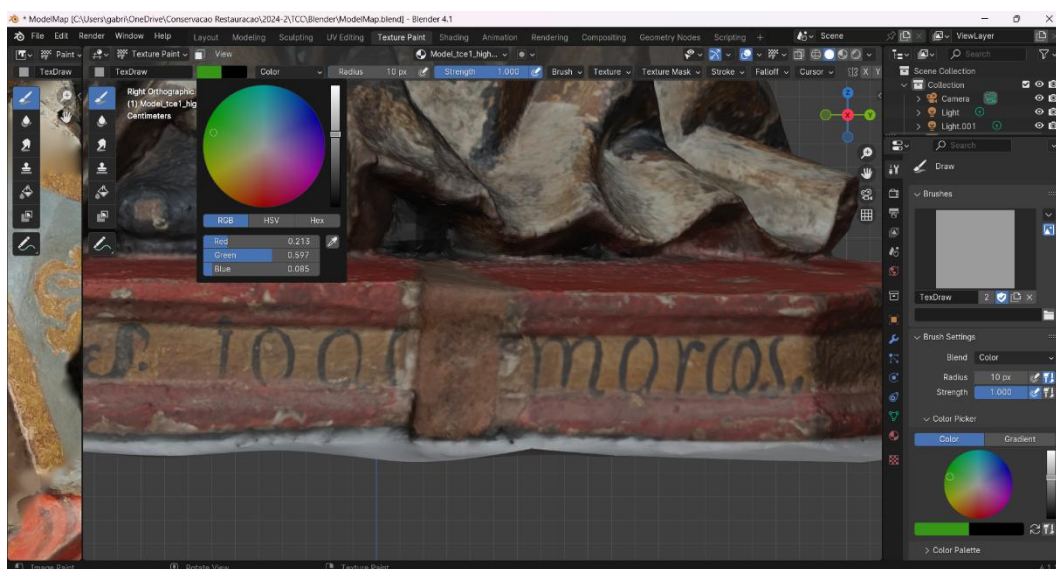


Fonte: autor

Desta forma, enfim, o modelo da escultura de São João Marcos se encontrava pronto para a elaboração do mapa de danos tridimensional no *Blender*, que deve ser desenhado digitalmente sobre sua superfície. Para a identificação das áreas danificadas por “perda de suporte”, optou-se pela pigmentação e, para isso, foram escolhidas duas cores – verde e violeta – que contrastassem com as cores da escultura, de forma que a diferenciação fosse facilmente reconhecível.

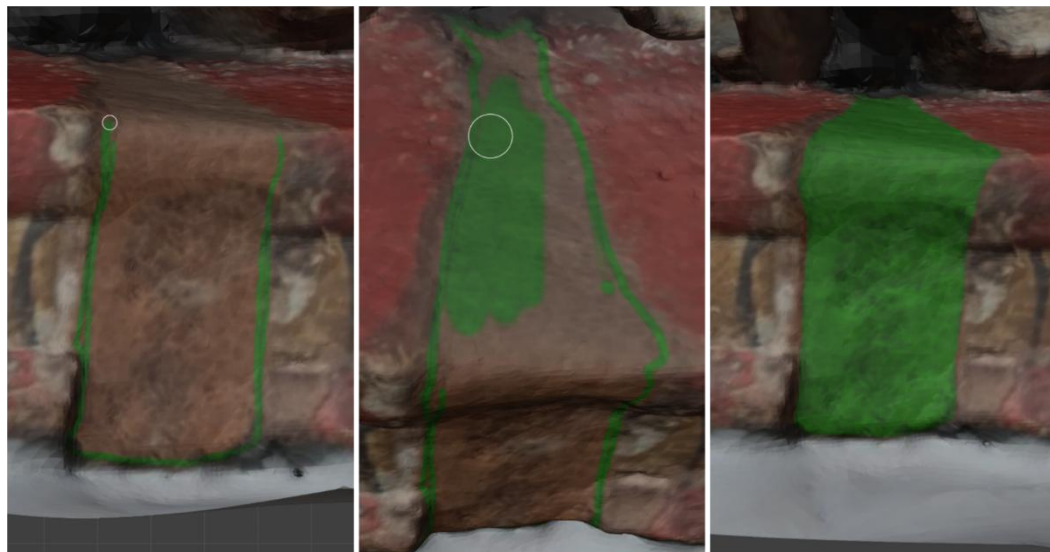
Na aba “*Texture paint*”, deve-se selecionar a ferramenta “*Paint*” e a primeira cor, verde, para demarcar as áreas que passaram por consolidação (figuras 76, 77, 78, 79 e 80). Da mesma forma, deve-se selecionar a segunda cor, violeta, para demarcar as áreas cujo suporte está ausente (figuras 81, 82, 83, 84, 85 e 86). Assim como a cor, o raio do pincel pode ser alterado a qualquer momento, o que tornam possíveis traçados delicados e pinceladas grossas, de acordo com a necessidade.

Figura 76 - Mapa de danos no *Blender*: área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base)



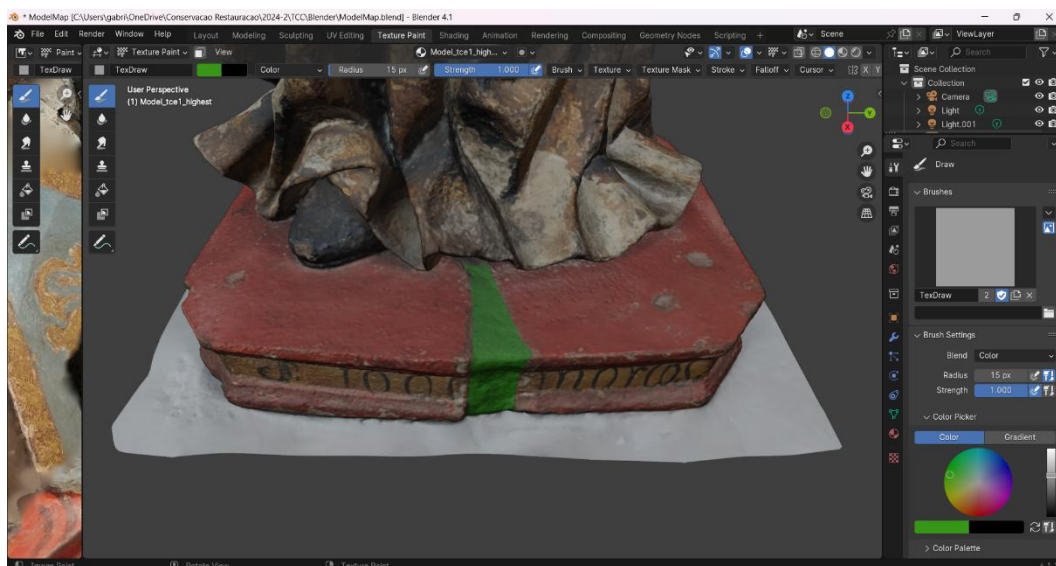
Fonte: autor

Figura 77 - Mapa de danos no *Blender*: área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base)



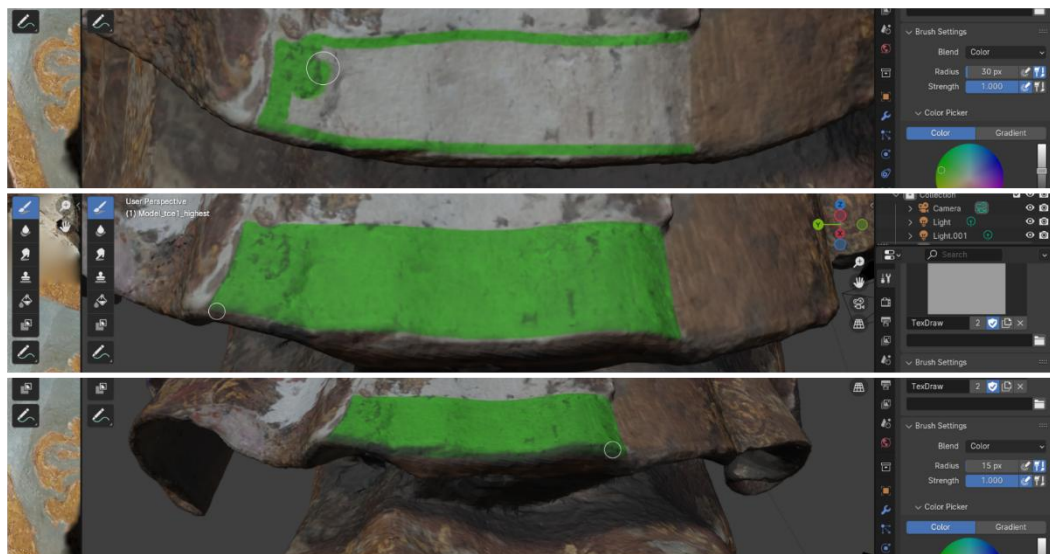
Fonte: autor

Figura 78 - Mapa de danos no *Blender*: área de perda de suporte consolidada (parte anterior da base)



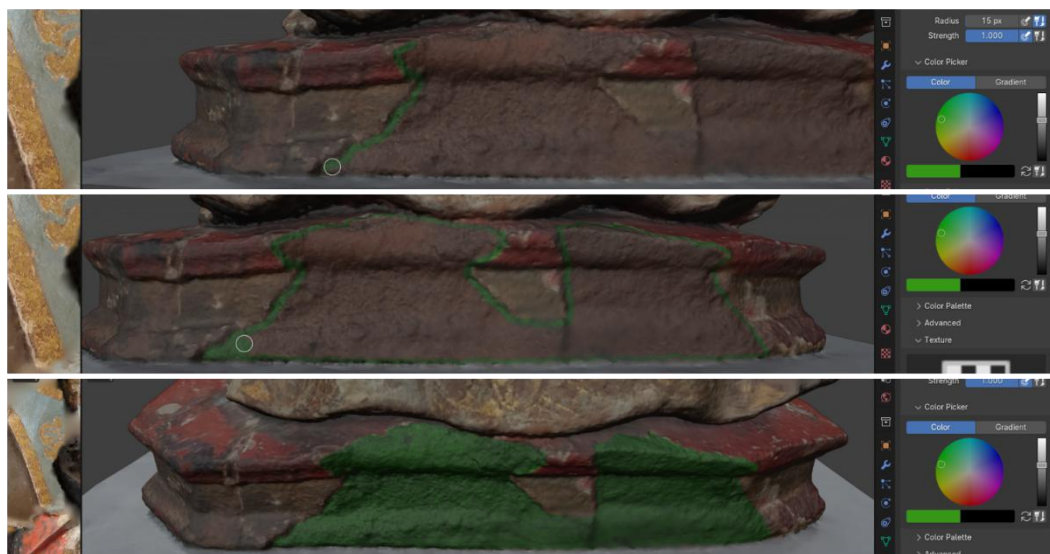
Fonte: autor

Figura 79 - Mapa de danos no *Blender*: área de perda de suporte consolidada (parte posterior inferior da capa)



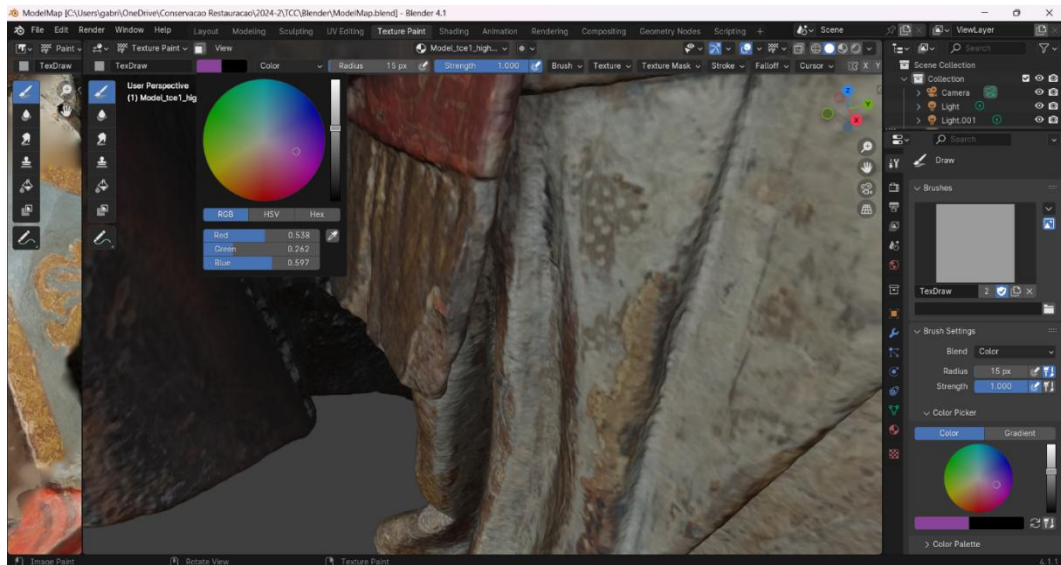
Fonte: autor

Figura 80 - Mapa de danos no *Blender*: área de perda de suporte consolidada (parte posterior da base)



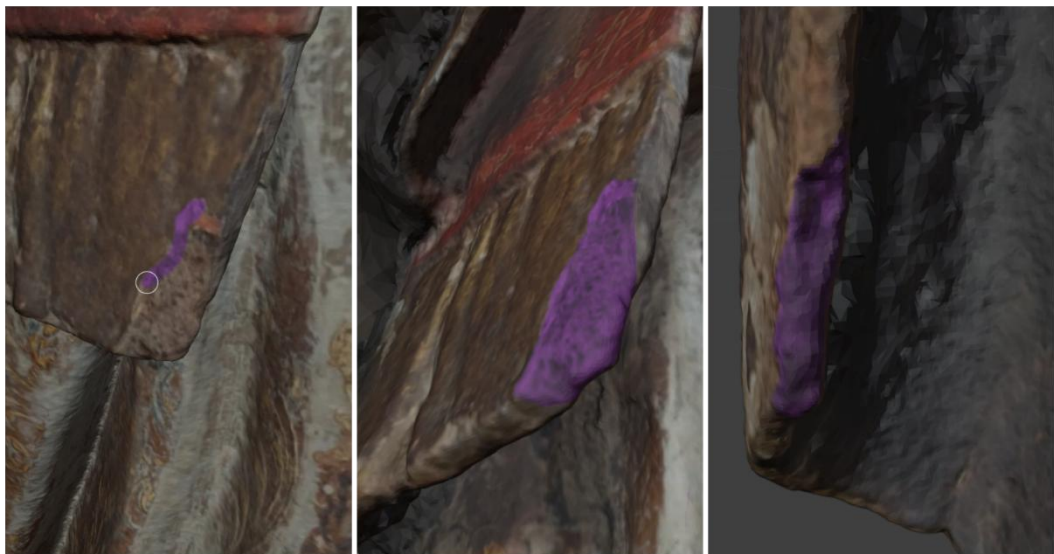
Fonte: autor

Figura 81 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (extremidade inferior do lado direito da estola)



Fonte: autor

Figura 82 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (extremidade inferior do lado direito da estola)



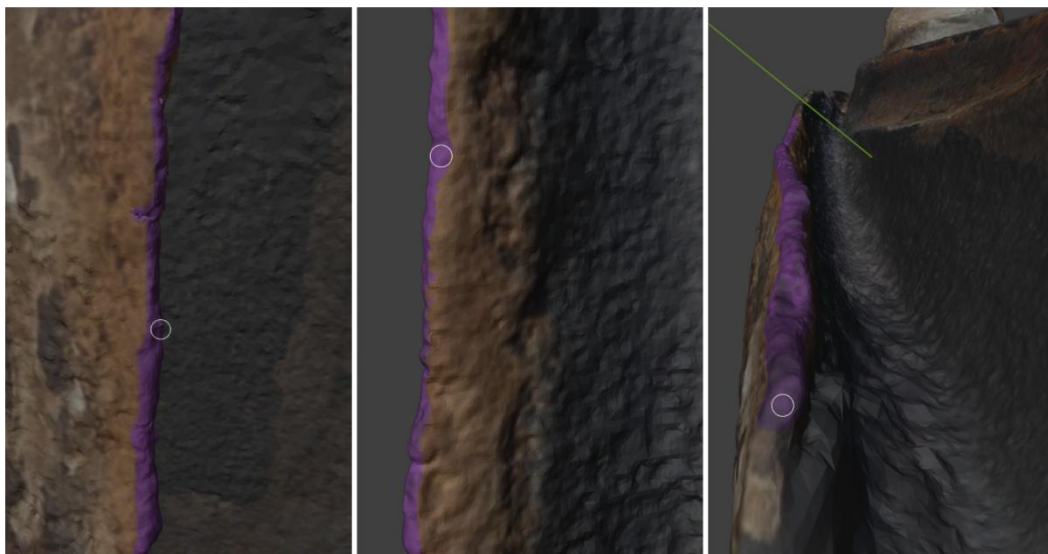
Fonte: autor

Figura 83 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (dedos da mão esquerda)



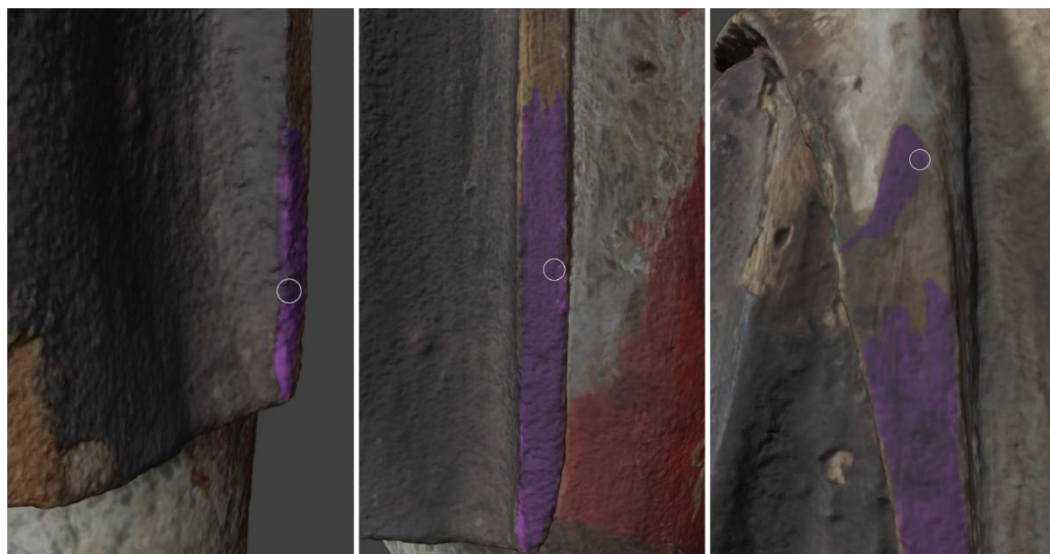
Fonte: autor

Figura 84 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (lateral direita da capa)



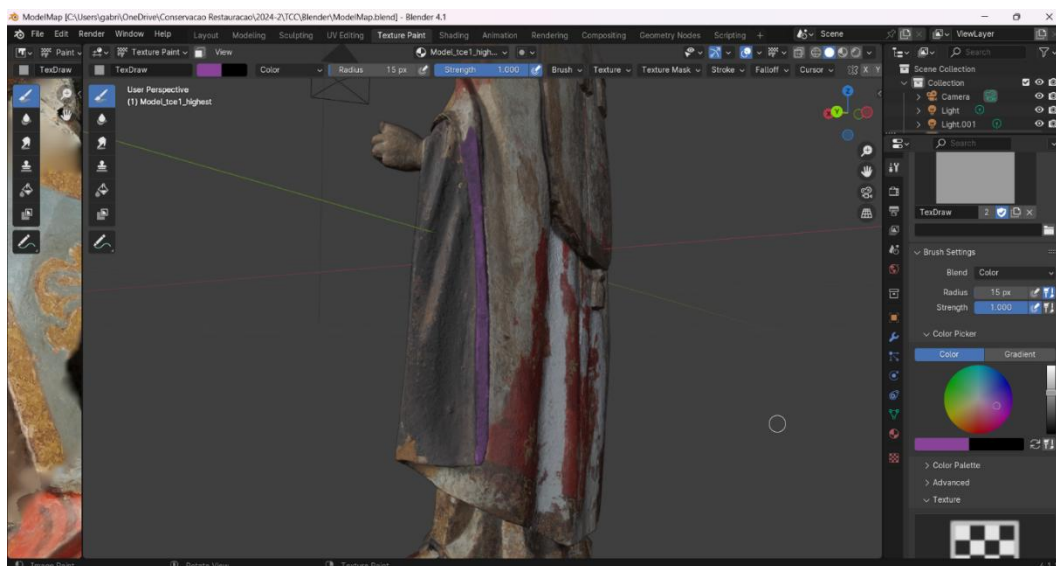
Fonte: autor

Figura 85 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (lateral esquerda da capa)



Fonte: autor

Figura 86 - Mapa de danos no *Blender*: área de suporte ausente (lateral esquerda da capa)



Fonte: autor

Como resultado, a quinta etapa da metodologia, que consistiu na **disponibilização dos dados ou do material digital**, pôde ser executada. O modelo da escultura de São João Marcos com o mapa de danos tridimensional, então, foi exportado a partir do *Blender*, para arquivamento e compartilhamento de dados (figuras 87, 88 e 89).

Figura 87 - Mapa de danos no *Blender*: exportação do modelo com mapa de danos



Fonte: autor

Figura 88 - Mapa de danos tridimensional da escultura de São João Marcos (vistas anterior e lateral esquerda)



LEGENDA

DANO
IDENTIFICADO

Perda de suporte



Suporte ausente



Suporte consolidado

Fonte: autor

Figura 89 - Mapa de danos tridimensional da escultura de São João Marcos (vistas posterior e lateral direita)



LEGENDA

DANO
IDENTIFICADO

Perda de suporte



Suporte ausente



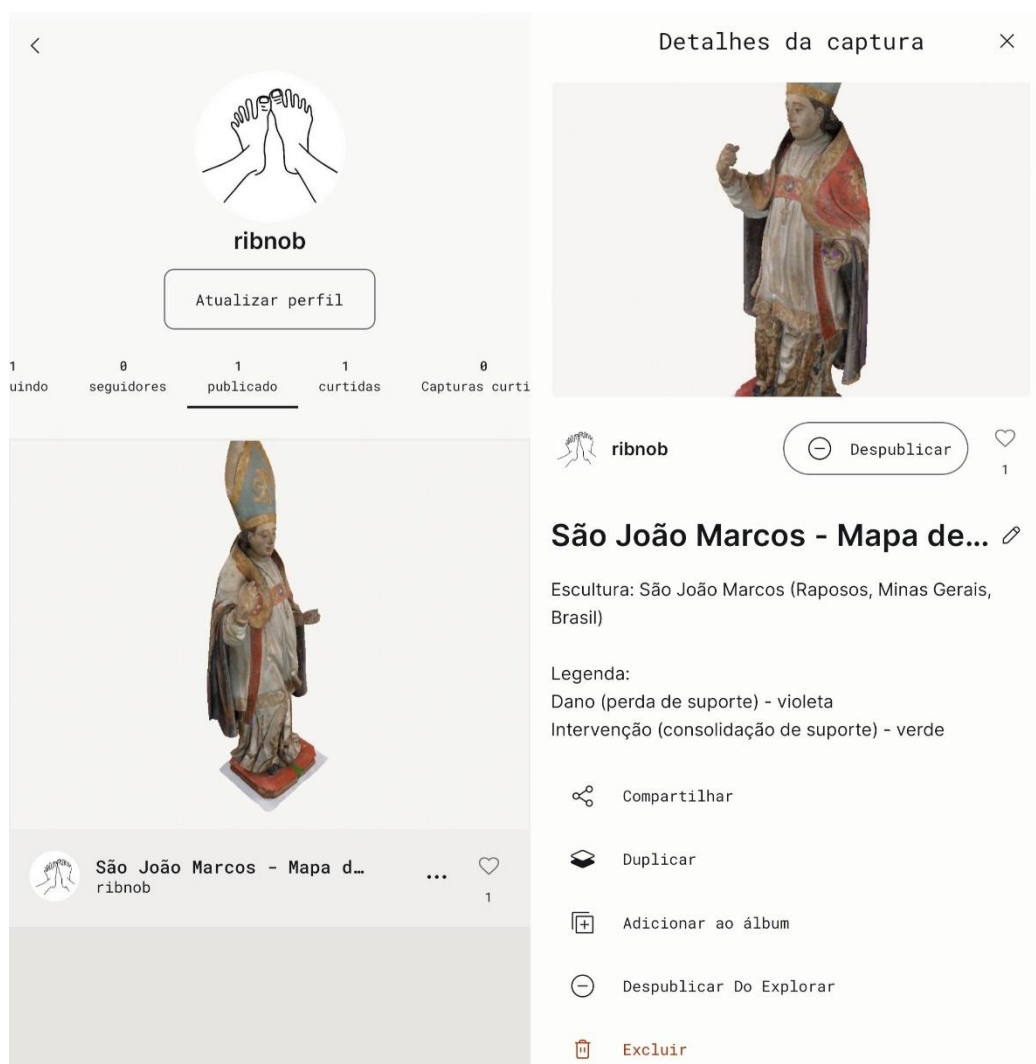
Suporte consolidado

Fonte: autor

3.4 Material digital produzido

Ao fim do processamento de dados, foi obtido um mapa de danos tridimensional da escultura de São João Marcos, de Raposos-MG. Entretanto, como não é possível apresentar em plenitude um modelo tridimensional em um plano bidimensional, ele foi compartilhado na galeria virtual do *Polycam*, onde se encontra acessível para visualização (figura 90).

Figura 90 - Interface do aplicativo *Polycam*: mapa de danos disponibilizado *online*



Fonte: <https://poly.cam/capture/2b1a0422-e7f7-40c1-ac5a-095ad14ee8cf>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, concluiu-se que não há método suficientemente simples que torne acessível a todos os conservadores-restauradores a criação de um mapa de danos baseado em reconstrução digital de uma obra. Contudo, como descrito, é possível criar um modelo tridimensional de forma descomplicada e objetiva, com o uso de apenas um aparelho celular.

A fotogrametria apresenta especificidades que a tornam uma ferramenta que requer especialização (Garcia, Salas e Caixeta, 2023), já que o processamento realizado no *software*, por si só, não assegura a excelência do modelo. É essencial atentar-se também à resolução das imagens e às configurações definidas ao longo das etapas do processamento, além de questões já discutidas, como o tipo de câmera e as condições de iluminação (Soster e Ferrari, 2021).

É preciso, portanto, enfatizar a importância do levantamento fotográfico para o modelo tridimensional, pois, além de determinar sua nitidez, “quando a qualidade das fotografias não equivale à qualidade solicitada para o *software*, ele simula interpolações que acabam por distorcer o modelo gerado em relação ao objeto físico” (Soster e Ferrari, 2021, p. 9), o que compromete o modelo resultante. No contexto deste trabalho, isso ocorreu precisamente nas cúspides da mitra do modelo da escultura de São João Marcos, parte mais alta e menos acessível da obra, demandando o uso de ferramentas complementares para correção da deformação volumétrica.

As discussões apresentadas até aqui revelaram uma multiplicidade de possibilidades para a integração de modelos tridimensionais e mapas de danos digitais aos processos de conservação-restauração. Visto que, além de se apresentar como um recurso para conservação e salvaguarda de bens culturais móveis, a partir da documentação e do monitoramento de seu estado de conservação, é possível afirmar que o mapa de danos digital desenvolvido sobre um modelo tridimensional pode ser também uma ferramenta para restauração, operando como relatório gráfico de intervenções e como guia para tomada de decisões do conservador-restaurador, que devem ser orientadas pelo conjunto de princípios que constituem a ética da profissão. Ademais, a partir deste modelo digital, todo um processo de restauração pode ser desenvolvido e discutido através de simulações virtuais, antes que se intervenha diretamente sobre o objeto.

Quanto aos produtos obtidos a partir deste trabalho, além das diversas aplicações possíveis para o material digital resultante, o estudo é capaz de apresentar novas perspectivas

para os dados coletados e gerados. A partir do modelo 3D da escultura de São João Marcos, é possível, por exemplo, testar digitalmente alternativas de recomposição volumétrica – por meio da modelagem de partes faltantes, como os blocos referentes aos dedos da mão esquerda – e de reintegração cromática – por meio da análise das cores e dos motivos decorativos, para intervenção nas lacunas existentes na parte posterior da capa. Outras possibilidades interessantes, para análise da escultura e compartilhamento de informações sobre ela, são a criação de um modelo 3D interativo, cujos blocos possam ser destacados e movimentados digitalmente, de forma a detalhar graficamente os mecanismos de fixação utilizados; ou de um mapa de danos interativo, cujas cores e texturas representativas de cada tipo de dano possam ser ativados e desativados, como forma de explicar graficamente o estado de conservação da escultura.

Em suma, a aplicação de ferramentas gráficas digitais, cuja visualidade é capaz de transmitir informações de maneira eficiente, tem um valor enorme para documentação, monitoramento, análise, diagnóstico, planejamento, intervenção, além de compartilhamento de informação sobre os bens culturais móveis. E, assim como este trabalho se desenvolveu a partir de pesquisas realizadas em trabalhos de conclusão de curso, espera-se que modelos tridimensionais e mapas de danos digitais possam ser utilizados como recursos em outros trabalhos, expandido repertório metodológico e consolidando paradigmas.

REFERÊNCIAS

AGISOFT METASHAPE. **Agisoft: Photogrammetric Software**. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ALICEVISION. **AliceVision: Photogrammetric Computer Vision Framework**. Disponível em: <https://alicevision.org/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ÁLVARES, P. M. F. **Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos: possibilidades de aplicação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/2f27fd5b-a1b0-4ef3-9207-1cbaa2774d6c>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ARRUDA, A. K. T. de. **Preservação e gestão do patrimônio construído: a contribuição do Heritage Information System**. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=1020815. Acesso em: 25 jan. 2025.

BLENDER. **Blender**. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

BRANDI, C. **Teoria da Restauração**. Tradução de Beatriz Mugayar Kühl. Cotia Ateliê Editorial, Coleção Artes & Ofícios, 2008.

CALDEIRA, C. C. Conservação preventiva: histórico. **Revista CPC**, [S. l.], n. 1, p. 91-102, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/cpc/article/view/15582>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CARDEIRA, L. *et al.* Identificação de padrões de estalados: estudo de caso nas pinturas de Adriano Sousa Lopes. In: **Ge-Conservación**. Madri: 2017, nº 12. p. 111-125. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/26034>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CANUTO, C. L.; MOURA, L. R. de; SALGADO, M. S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647456>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CARTAS patrimoniais. **IPHAN**, acervos e publicações. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CAVALCANTE, G. A. **Reflexão teórica sobre o processo de remoção de repintura – estudo de caso da escultura de São João Marcos da Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição do Município de Raposos/MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2021.

CAVALVANTE, G. A.; MOURA, M. T. D. **Relatório São João Marcos**. 53 f. Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

CIDOC. **The International Committee for Documentation of the International Council of Museums**. Disponível em: <https://cidoc.mini.icom.museum/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CIPA. **CIPA Heritage Documentation**. Disponível em: <https://www.cipaheritagedocumentation.org/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

COELHO, B.; QUITES, M. R. E. **Estudo da escultura devocional em madeira**. Belo Horizonte: Fino Traço, 1ª ed., 2014.

COSTA, C. F. L. **Valores materiais e imateriais na fundamentação de critérios para intervenção em escultura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2024.

DEHON, A. H. **Elaboración de un mapa de daños 3D como recurso para la conservación y restauración de un bien cultural**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Restauración y Conservación de Bienes Culturales) - Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, 2020. Disponível em: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20522>. Acesso em: 25 jan. 2025.

FRONER, Y.; ROSADO, A. **Princípios históricos e filosóficos da Conservação Preventiva**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Belas Artes, Laboratório de Ciência da Conservação, 2008. Projeto: Conservação preventiva: avaliação e diagnóstico de coleções. Programa de Cooperação Técnica: IPHAN/UFGM.

GARCIA, V. C.; SALAS, J. C. G.; CAIXETA, E. M. M. P. Tecnologias de código aberto para registro fotogramétrico do patrimônio arquitetônico. **Revista Jatobá**, Goiânia, v. 5, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/76955>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GÓMEZ GONZÁLEZ, M.; GÓMEZ ESPINOSA, T. Diagnóstico y metodología de restauración en la escultura policromada. **Arbor**, [S. l.], v. 169, n. 667-668, p. 613–644, 2001. DOI: 10.3989/arbor.2001.i667-668.903. Disponível em: <https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/903>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GONÇALVES, W. de B. **Métricas de preservação e simulações computacionais como ferramentas diagnósticas para a conservação preventiva de coleções: estudo de caso no Sítio Patrimônio Mundial de Congonhas-MG**. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/bfb206ca-ae3f-44cf-97ca-2c0f07ca0a2a>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GRAFOLIN, G. R. et al. Captura de realidade com fotogrametria: comparando aplicativos na digitalização do patrimônio edificado. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 29., 2020, Pelotas. **Anais digitais** [...] Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/221/2020/01/2020.11.27_Grafolin-et-al-CAPTURA-DE-REALIDADE-COM-FOTOGAMETRIA-COMPARANDO-APLICATIVOS-NA-DIGITALIZACAO-DO-PATRIMONIO-EDIFICADO.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da fotogrametria digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004. Disponível em: <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/12139>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. A Fotogrametria digital na documentação do Patrimônio Arquitetônico. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 2, n. 1, 2013.

GUEDES, C. M. Tecnologias de processamento fotogramétrico e restauro digital como ferramentas de preservação e conservação do patrimônio arqueológico: Um estudo de caso do contexto brasileiro. In: **Seminário de Preservação do Patrimônio Arqueológico**, IV., 2016, Rio de Janeiro. Anais do Seminário de Preservação do Patrimônio Arqueológico, 2016. Disponível em: http://site.mast.br/hotsite_anais_ivsppa/index.html. Acesso em: 25 jan. 2025.

HASSANI, F. Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 5, p. 207, 2015. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-5-W7/207/2015/isprsarchives-XL-5-W7-207-2015.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

IBAÑEZ, V. M. **Uso del modelado y fabricación 3D como propuesta de intervención para la escultura "Homenaje al campesino" de Enrique Cejas Zaldívar**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Restauración y Conservación de Bienes Culturales) - Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, 2019. Disponível em: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/17112>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ICCROM. **Heritage Science**. Disponível em: <https://www.iccrom.org/section/heritage-science>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ICOM. **Home**. Disponível em: <https://icom.museum/en/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ICOMOS. **About**. Disponível em: <https://www.icomos.org/en>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ISPRS. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**. Disponível em: <https://www.isprs.org/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

LEÃO, A. C. et al. A fotografia digital como ferramenta de estudo dos marfins nos acervos de Minas Gerais e sua inclusão em banco de dados. In: **O comércio de marfim no mundo atlântico: circulação e produção**. 1. ed. Belo Horizonte: Clio Gestão Cultural e Editora, 2018. cap. 10, p. 281-297.

MESHLAB. **Home**. Disponível em: <https://www.meshlab.net/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MESHMIXER. **Autodesk App Store**. Disponível em: <https://apps.autodesk.com/FUSION/en/Detail/Index?id=4108920185261935100&appLang=en&os=Win64>. Acesso em: 25 jan. 2025.

POLYCAM. **App and platform**. Disponível em: <https://poly.cam/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

QUITES, M. R. E. **Esculturas devocionais: reflexões sobre critérios de conservação-restauração**. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2019.

RAWTHERAPEE. **RawTherapee: Open Source Cross-Platform Photo Processing Software**. Disponível em: <https://www.rawtherapee.com/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

REMONDINO, F.; EL-HAKIM, S. Image-based 3D modelling: a review. **The Photogrammetric Record**, v. 21, n. 115, p. 269-291, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ROSADO, A. História da arte técnica: uma reflexão sobre o emprego da história da arte e ciência no estudo de pinturas. **PÓS: Revista do Programa de Pós-graduação em Artes da EBA/UFGM**, [S. l.], p. 148–157, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistapos/article/view/15486>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ROSADO, A., QUITES, M. R. E. Escultura colonial mineira: história, técnica e preservação. In: ROSADO, A., GONÇALVES, W. de B. (org.). **Ciências do Patrimônio: Horizontes Transdisciplinares**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Cultura de Minas Gerais, Arquivo Público Mineiro, 2015, p. 205-217.

SILVA, D. C. da. Evolução da fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, Pato Branco, v. 3, n. 2, p. 81-86, 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5467>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SOSTER, S. S.; FERRARI, F. Documentação digital do patrimônio arquitetônico: Antiga Estação Ferroviária de São Carlos-SP. **Revista de Ciência e Tecnologia**, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://revista.ufr.br/rct/article/view/7021>. Acesso em: 25 jan. 2025.

STERP MOGA, E. **Aplicación de técnicas digitales 3D en una propuesta de conservación-restauración para un modelo anatómico en cera**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Conservación y restauración del patrimonio cultural) - Universidad Complutense de Madrid. Madrid, 2017. Disponível em: <https://docta.ucm.es/entities/publication/875867f0-c99f-48dd-a87b-78db9aa58799>. Acesso em: 25 jan. 2025.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos – recomendações básicas / Textos para discussão – série 2: Gestão de Restauro**, Olinda: CECI, 2009. Disponível em: https://www.gestaoderestauro.org/files/ugd/d61cb0_ec1b1c1b508e4ab195d49e7bd637872f.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

TIRELLO, R. A.; CORREA, R. H. Sistema normativo para mapa de danos de edifícios históricos aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. In: Colóquio Latino-Americano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial, VI., 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos** [...] São Paulo, 2012. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1172/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica - Introdução**. 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_Fotogrametria.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.