UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CAMPUS DE LARANJEIRAS – CAMPUSLAR
DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA
BACHARELADO EM ARQUEOLOGIA

MORONI HENRIQUE RIBEIRO NOGUEIRA

METODOLOGIAS DIGITAIS PARA O REGISTRO ARQUEOLÓGICO: ESTUDOS DE CASO COM APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL E MODELAGEM 3D

Laranjeiras - SE
2023

MORONI HENRIQUE RIBEIRO NOGUEIRA

METODOLOGIAS DIGITAIS PARA O REGISTRO ARQUEOLÓGICO: ESTUDOS DE CASO COM APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL E MODELAGEM 3D

Trabalho de conclusão de curso, monografia apresentado à Universidade Federal de Sergipe, Campus de Laranjeiras, Departamento de Arqueologia, como requisito para o recebimento do grau Bacharel em Arqueologia.

Orientador: Professor Doutor Albérico Nogueira de Queiroz

Laranjeiras – SE

2023

AGRADECIMENTOS

Aos que contribuíram para a realização do meu maior sonho de me tornar um arqueólogo, expresso minha profunda gratidão. Em especial, dedico meus agradecimentos a minha mãe, Maria Lúcia Ribeiro, cujo apoio incondicional e dedicação foram essenciais para tornar esse sonho possível. Ela esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo não apenas minha mãe, mas também minha amiga e mentora.

Agradeço também a minha irmã e amiga, Rafaela Thais, por sua personalidade forte e amor incondicional, que me ajudaram a permanecer no caminho correto. Aos meus amigos Anne Yasmin, Pedro Rafael e Beatriz Moreira, que me incentivaram e estiveram ao meu lado nesta etapa final. Cada um deles contribuiu de maneira única para o meu crescimento e desenvolvimento durante a elaboração deste TCC.

Por último, sou imensamente grato ao Doutor Albérico Nogueira de Queiroz, meu orientador, que generosamente se ofereceu para me guiar neste trabalho final. Sua orientação e incentivo foram fundamentais para a construção deste projeto.

A todos vocês, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta jornada e por contribuírem para a realização do meu sonho. Sem a presença e apoio de cada um, nada disso teria sido possível. Obrigado por tudo!

RESUMO

Este estudo aborda as práticas de registros digitais que vêm ganhando espaço no campo da arqueologia, com destaque para a fotogrametria digital e a modelagem poligonal 3D, utilizadas na criação de registros simulados. Com o avanço da computação, novas tecnologias têm emergido, trazendo contribuições significativas para diversas áreas da ciência, incluindo a arqueologia, que agora conta com novas formas de registros e análises. O trabalho apresenta metodologias que promovem o registro arqueológico científico, permitindo a construção de bancos de dados digitais com modelos tridimensionais para análises futuras, preservação e disseminação de um "patrimônio digital" por meio de plataformas virtuais. O acervo do Laboratório de Bioarqueologia da Universidade Federal de Sergipe foi utilizado como exemplo, com enfoque nos vestígios ósseos escavados na igreja da Matriz de Nossa Senhora da Conceição, localizada no centro histórico da cidade de Marechal Deodoro, no Estado de Alagoas, e do sítio Água Vermelha, na reserva Indígena Caramuru Paraguaçu, situada no Sul da Bahia.

Palavras-chave: Arqueologia Digital; Fotogrametria; Registros Simulados; Modelagem 3D.

ABSTRACT

This study addresses the growing digital recording practices in the field of archaeology, such as digital photogrammetry and 3D polygonal modeling, used in the creation of simulated records. With the advent of computers, new technologies have emerged, contributing to various scientific fields, including archaeology, offering novel methods for recording and analysis. The research presents methodologies that foster scientific archaeological recording, enabling the creation of digital databases with three-dimensional models for future analyses, preservation, and dissemination of a "digital heritage" through virtual platforms. The collection at the Laboratory of Bioarchaeology, Federal University of Sergipe, was used as an example, focusing on bone records excavated at the Matriz de Nossa Senhora da Conceição church, located in the historical center of Marechal Deodoro, Alagoas, and the Água Vermelha site, within the Caramuru Paraguaçu Indigenous Reserve, situated in Southern Bahia.

Keywords: Digital Archaeology; Photogrammetry; Simulated Records; 3D Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ocorrência do termo ‘digital’ associado ao uso de computadores em quatro áreas das ciências humanas extraída do Google’s English corpus para o período de 1950-2008 (modificado de Huggett, 2012: 90, *Apud* Torres, 2017)..... 11

Figura 2: Dispositivo mecânico para desenhar perspectivas a esquerda J. CHIMENTI, 1600); Estereograma a direita (J. CHIMENTI, 1600)..... 14

Figura 3: Catedral de Notre Dame, gráfico do jogo Assassin's Creed Unity. The Verge, 2014. 16

Figura 4: Ciberarqueologia aplicada a Sítios Concheiros: O Projeto Sambaqui interativo. Fonte: Martire *et al*., 2018. 17

Figura 5: Cachimbo Afro-Brasileiro com Piteira, Ergane, Sketchfab, 2021. 18

Figura 6: Cerâmica reconstruída a partir de imagens de referências, Ergane, Sketchfab, 2021. 18

Figura 7: Indivíduo 11, conjunto 5. 7(a): à esquerda crânio com parte do maxilar fragmentado; 7(b) à direita, foco na manipulação dentária intencional. Carvalho & Carvalho, 2022..... 22

Figura 8: À esquerda, mandíbula esquerda cortada de Caititu, à direita fêmur polido e cortado de Caititu, Carvalho, Etchevarne e Queiroz, 2019. 23

Figura 9: Indivíduo conjunto V, sítio arqueológico Largo da Matriz fotografado com luz natural, ISO alto. Modelo incompleto apenas para demonstração da iluminação. Autor, 2022..... 27

Figura 10: Indivíduo n° 11 digitalizado em modelo 3D com escalas de 20 cm no formato retangular, e globo com 10 cm de circunferência, a partir da prática fotogramétrica com ISO 80, e uso de flash. Fonte: Autor, 2022. 28

Figura 11: As imagens acima apresentam os locais que as fotos foram tiradas, tendo como peça central o modelo gerado pelo programa, captura de tela do 3dsMax (software de fotogrametria). Unity photogrametry workflow, 2017. 30

Figura 12: As imagens acima mostram um trabalho utilizando o Agisoft Metashape. Os retângulos azuis indicam as posições das câmeras geradas automaticamente pelo programa. Magalhães *et al*. 2018. 30

Figura 13: Interface do Agisoft Metashape. Fonte: Autor 2022. 31

Figura 14: Etapa de criação dos Chunks trabalhados, Fonte: Autor, 2023..... 32

Figura 15: Etapa de Align Photos. Fonte: Autor, 2022..... 32

Figura 16: Tíbia humana gerada em nuvens de pontos. Fonte: Autor, 2022 33
Figura 17: Os retângulos em azul indicam onde cada imagem foi fotografada. Fonte: Autor, 2022. 33
Figura 18: Etapas descritas acima para o Build Dense Cloud. Fonte: Autor, 2022. 34
Figura 19: Modelo na etapa de nuvem de pontos densa, área em cor de rosa representa o local selecionado para deletar pontos indesejáveis. Fonte: Autor, 2022. 34
Figura 20: À esquerda, indicando a etapa seguinte, a direita, mostrando o face count e os números de faces que constituíram o modelo final. Fonte: Autor, 2022. 35
Figura 21: O mesmo modelo em duas visualizações distintas, acima o solid, abaixo o shaded, Fonte: Autor, 2022. 35
Figura 22: Etapas para criar e importar as masks. Fonte: Autor, 2023. 36
Figura 23: Exemplo de mask que forma em cada foto, delimitado por linhas branca, para a texturização na etapa final. Fonte: Autor, 2023. 36
Figura 24: Etapas para o alinhamento dos Chunks, nota verificar o Method, Accuracy, Key point limit e Apply masks seguindo as configurações mostradas na imagem. Fonte: Autor, 2023. 37
Figura 25: Show Aligned Chunks, presente na barra superior, último ícone a direita. Fonte: Autor 2023. 37
Figura 26: Etapas para fundir os ´pedaços`, selecionar a opção a partir do Merge dense cloud. 38
Figura 27: Etapa para o Dense Cloud Confidence. Fonte: Autor, 2023 38
Figura 28: Seleção para o Filter by Confidence. Fonte: Autor, 2023. 39
Figura 29: Janela para selecionar os pontos confiáveis e/ou ruídos. Fonte: Autor, 2023. 39
Figura 30: Select Confidence Range com valores mínimos que representam as falhas. Fonte: Autor, 2023. 40
Figura 31: Os pontos com valores de 0 a 2 representam os ruídos para serem deletados. Fonte: Autor, 2023. 40
Figura 32: Modelo sem ruídos, quanto mais azul, maior o nível de confiança. Fonte: Autor, 2023. 40
Figura 33: Etapas para construir a textura. Fonte: Autor, 2023. 41
Figura 34: Interface Blender, sendo (1) a janela de informações ao topo; (2) a janela de visualização e manipulação 3D; (3) área que lista e organiza os objetos em cena; (4) janelas

de edição das propriedades dos objetos selecionados; (5) A janela de tempo, para criar animações. Fonte: Autor, 2022. 42

Figura 35: Coordenadas espacial do Blender, por Oliveira e Silva, 2013. 42

Figura 36(a): A esquerda, principais formas de vasilhas de cerâmica arqueológica Guarani, fonte: Brochado e Monticelli, 1994, 36 (b) a direita simulação de vasilhas de cerâmica Guarani utilizando imagem de referência. Fonte: Autor, 2021. 43

Figura 37 (a): Crânio do indivíduo número 11, conjunto 5, oriundo do sítio Arqueológico Largo da Matriz com maxilar fragmentado. 37 (b): Modelo digital tridimensional unido ao seu maxilar fragmentado. Fonte: Autor, 2023. 44

Figura 38 (a): Vista superior; 38 (b): vista inferior do indivíduo 11, conjunto 5, oriundo do sítio Arqueológico Largo da Matriz. Fonte: Autor, 2023. 45

Figura 39 (a) e 39 (b): Tíbia do lado direito, indivíduo proveniente do sítio Arqueológico Largo da Matriz. Fonte: Autor, 2023. 46

Figura 40 a, b e c: Mandíbula esquerda de Pecari tajacu cortada, proveniente da urna 2 do sítio Água Vermelha, Reserva Indígena Caramuru Paraguaçu. Fonte: Autor, 2023. 47

Figura 41 Fêmur direito de Pecari tajacu (a): vista frontal, com marcas de cortes e polimento: 41 (b): vista lateral, pertencente a urna 2 do sítio Água Vermelha, Reserva Indígena Caramuru Paraguaçu. Fonte: Autor, 2023. 48

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 8

1. ARQUEOLOGIA DIGITAL 10

2. MATERIAIS E MÉTODOS 20

2.1. Amostras bioarqueológicas 21

2.2. O método fotogramétrico 23

2.2.1. Agisoft Metashape 26

2.2.2. Fotogrametria em prática 27

2.3. O Blender 41

3. RESULTADOS OBTIDOS 44

CONSIDERAÇÕES FINAIS 48

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

INTRODUÇÃO

A arqueologia é uma ciência social interdisciplinar que busca interpretar a história de povos pretéritos por meio de sua materialidade. Com o avanço das novas tecnologias aplicadas ao registro e colaboração com diversas áreas da prática arqueológica, surgiu a chamada Arqueologia Digital, que, em essência, utiliza meios digitais para realizar o trabalho arqueológico.

A presente monografia tem como objetivo apresentar dois métodos desse campo que contribuem para o registro arqueológico: a fotogrametria, que consiste na criação de modelos tridimensionais a partir de fotografias do objeto, e a modelagem 3D, utilizada para editar e complementar os registros fotogramétricos.

Os métodos escolhidos foram selecionados para promover a disseminação da cultura material de forma mais acessível no meio digital, divulgando-os em diferentes redes de comunicação, ao empregar a fotogrametria e a modelagem 3D para a formação de acervos arqueológicos digitais.

As possibilidades tecnológicas de criar espaços interativos, colaborativos e com bancos de dados salvos na nuvem tornam viável a construção de dados para divulgação, levando ao público materiais que geralmente são mantidos em ambientes acadêmicos, possibilitando uma maior democratização do conhecimento arqueológico no meio digital.

Como tanto a tecnologia quanto os estudos arqueológicos estão em constante desenvolvimento, os métodos de registros digitais utilizados preservam os dados para futuras pesquisas, ao propor a construção de modelos para análises e interpretações futuras, contando com a participação de diferentes pesquisadores e campos da arqueologia.

Diante dessas metodologias digitais, com destaque para a fotogrametria, surgem os seguintes questionamentos: como ela pode contribuir para o registro arqueológico? Quais estratégias podemos utilizar para divulgar esse conhecimento no meio acadêmico, permitindo que qualquer interessado se especialize nesse método? Os resultados obtidos, que disponibilizam modelos de livre interação, poderiam substituir os métodos convencionais, como desenhos e fotografias?

A seguir, no primeiro capítulo, será discutido o conceito de Arqueologia Digital, sua origem no campo arqueológico, os grupos de estudo que levam essa temática para as universidades ao elaborarem simulações virtuais para educação patrimonial e os meios pelos

quais o contexto arqueológico pode alcançar o público por meio das metodologias utilizadas na pesquisa.

Em seguida, serão apresentadas as amostras arqueológicas analisadas, compreendendo os registros ósseos humanos e animais do acervo disponível no Laboratório de Bioarqueologia (LABIARQ) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado em Laranjeiras, que foram escavados na igreja da Matriz de Marechal Deodoro, Alagoas, do período colonial, e do Sítio Água Vermelha, localizado na reserva Indígena Caramuru Paraguaçu, no Sul da Bahia.

Serão apresentados os softwares utilizados para a construção e edição dos modelos, bem como uma descrição da metodologia empregada no estudo de caso, auxiliando futuros acadêmicos a compreender as etapas descritas, buscando instruir e capacitar o leitor nesse método, mesmo diante de recursos limitados. Por fim, será feito um breve registro dos resultados obtidos nessa pesquisa.

O objetivo desses estudos de caso é utilizar os acervos arqueológicos disponíveis em Laranjeiras e aplicar a fotogrametria para criar um registro digital tridimensional, exemplificando o método em registros arqueológicos (especificamente os bioarqueológicos), de modo que o leitor compreenda as etapas e possa aplicá-las em futuras pesquisas, visando à preservação, à educação patrimonial nas escolas e ao material de estudo para futuros acadêmicos.

Para tanto, foram utilizados dois softwares: o Blender - um programa gratuito e de código aberto para design tridimensional e renderização - para a modelagem poligonal de acervos arqueológicos, a partir de imagens de referência, permitindo simular objetos de difícil acesso, de forma mais acessível.

Além disso, foi utilizado o Agisoft Metashape - um software de fotogrametria - que, por meio de fotografias tiradas de pontos específicos, forma sequências com sobreposição superior a 70% entre as imagens de diferentes alturas (MAGALHÃES *et al.*, 2018, p. 192), resultando em modelos de maior precisão quando comparados com a modelagem.

Por fim, serão apresentados os resultados obtidos, ou seja, modelos tridimensionais para divulgação e análise científica das amostras bioarqueológicas elaboradas a partir das técnicas descritas, demonstrando o potencial da fotogrametria e da modelagem 3D nos registros ósseos.

1. ARQUEOLOGIA DIGITAL

Antes de tudo, a arqueologia é a ciência que estuda sociedades e modos de vida sociais pretéritos através da materialidade. Seu principal objetivo é compreender fenômenos de mudanças na história da humanidade, investigando a transformação dos sistemas socioculturais ao longo do tempo, considerando dimensões interrelacionadas que constituem o meio social: forma, espaço e tempo (LIMA, 2011).

Todos os objetos construídos pelas mãos humanas contêm significados, manifestações de hábitos e intenções, além das formas de ver, interpretar e representar o mundo. "A Arqueologia estuda as sociedades humanas a partir das coisas produzidas, utilizadas e descartadas pelas pessoas, no passado distante ou recente, e que conformam o contexto arqueológico" (WITCHERS, ZANETTINI, TEGA, 2017, p. 83) - a chamada 'cultura material'.

Ao analisarmos esses objetos em um contexto arqueológico, essa materialidade nos revela informações a respeito dos povos que as criaram, como a cadeia operatória, crenças, intencionalidade, entre outras características sociais.

Assim, a cultura material possui um enorme significado para a Arqueologia, sendo um dos mecanismos para compreender a identidade de povos antigos, tanto sociedades letradas quanto povos ágrafos. A Arqueologia desenvolve um olhar crítico ao analisar a materialidade.

A Arqueologia, por ser interdisciplinar, adota técnicas e métodos que utilizam ferramentas tecnológicas para o trabalho arqueológico, como análises, registros e formas de compartilhar informações com o público em geral. Com o avanço tecnológico e a globalização, surge a Arqueologia Digital como exemplo desse desenvolvimento.

Ao falar de Arqueologia Digital, estamos relacionando a aplicação de tecnologias digitais da informação e da comunicação que colaboram com diversas etapas do trabalho arqueológico e seu registro. Essa abordagem correlaciona teoria e tecnologia em um termo abrangente. Entretanto, conforme Daly & Evans (2006) apontam:

> A Arqueologia Digital deve existir para nos apoiar em todas as etapas da Arqueologia. Não deve ser um conhecimento secreto, tampouco uma escola de pensamento distinta, mas simplesmente deve ser vista como Arqueologia bem-feita, utilizando todas as ferramentas disponíveis para ajudar a melhorar a forma como recuperamos, entendemos e apresentamos o passado. No final, não existe tal coisa como uma Arqueologia Digital. O que existe, ou ao menos deveria existir, são formas inteligentes e práticas de aplicação dos computadores à Arqueologia, que nos capacite melhor a buscar nossos questionamentos teóricos e suas aplicações metodológicas. (Tradução por Rodrigo Torres 2017, p. 9).

A Arqueologia Digital apresenta um potencial de modelos abertos[1] tridimensionais para uma arqueologia pública, atuando como uma ponte entre a aplicação de tecnologias 3D,

[1] Modelos tridimensionais acessíveis para visualização e edição.

patrimônio e sociedade. Conforme Zanettini *et al*. e Gomide (2022, p. 57) afirmam, "o esforço destinado à preservação patrimonial se vê potencializado a partir do emprego da tecnologia digital no campo da pesquisa arqueológica".

Inicialmente, a Arqueologia e a computação (novas tecnologias) tratavam-se apenas de demandas acadêmicas interdisciplinares e de um senso de emergência de um paradigma cientificista após a Segunda Guerra Mundial (TORRES, 2017). No entanto, com a evolução tecnológica, as pesquisas e análises arqueológicas têm propiciado novas ideias para a divulgação e preservação dos registros arqueológicos.

O termo "Arqueologia Digital" foi mencionado pela primeira vez por volta de 1980 (Figura 1), e observa-se sua repercussão em áreas das ciências humanas, bem como o início do uso do termo "arqueologia digital" por volta de 1988, seguido de um crescimento significativo a partir de 2002, juntamente com a definição de "humanidades digitais[2]". Essa evolução trouxe uma grande repercussão sobre o uso de tecnologia digital em áreas das ciências humanas.

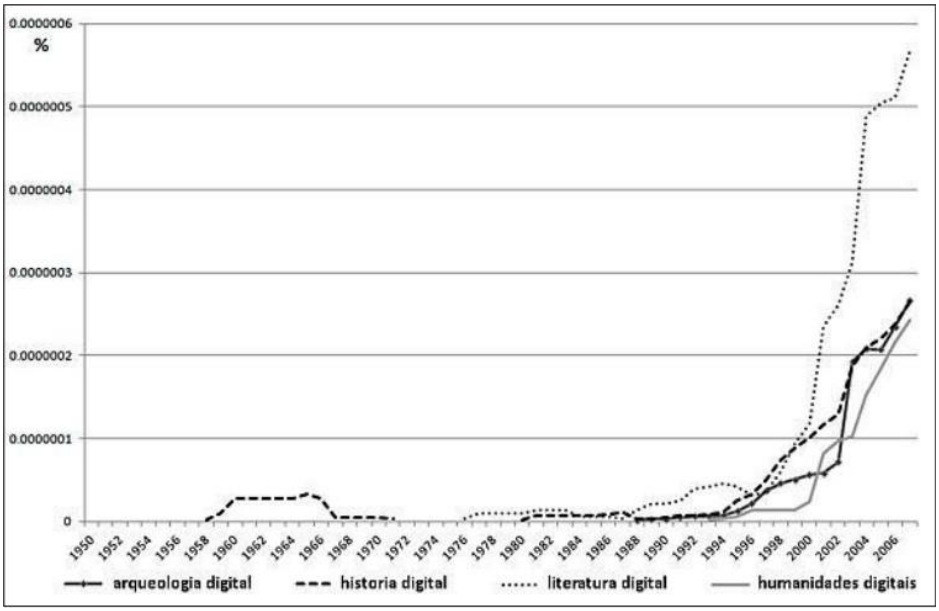

Figura 1: Ocorrência do termo ‘digital’ associado ao uso de computadores em quatro áreas das ciências humanas extraída do Google’s English corpus para o período de 1950-2008 (modificado de Huggett, 2012: 90, *Apud* Torres, 2017).

Os dados obtidos em mídia digital e compartilhados em um ambiente de rede permitem análises mais rápidas e participativas em todas as etapas da pesquisa - do campo ao laboratório, biblioteca e público. Novas formas de processamento e compartilhamento de informações estão facilitadas em resposta a esses novos horizontes. Métodos das ciências

[2] A junção interdisciplinar das áreas da computação com as ciências humanas.

humanas são combinados com ferramentas de visualização computacional de dados, recuperação de informações, pesquisa, análise e modelagem (TORRES, 2017).

A aplicação de modelos digitais em 3D para difusão do patrimônio arqueológico tem sido valorizada por meio das práticas de comunicação, trazendo a herança cultural para o meio digital. Tais registros tridimensionais possuem diversas finalidades e são aplicados em diferentes dispositivos, como museus virtuais, redes sociais e educação, por exemplo, com o objetivo de atingir diversos públicos e colocá-los no centro desse ambiente exploratório (RATES, 2014).

Algumas formas de visualização e compartilhamento desses registros se abrem para mídias sociais e apresentam potencial para aplicações de AR/VR[3], projetados para fins educacionais (QUATTRINI *et al*., 2020).

Ao utilizar novas tecnologias para o trabalho arqueológico, nota-se, assim como em outras técnicas, uma grande interdisciplinaridade:

> (...) claramente que trabalhos que envolvem patrimônio digital não são triviais, pois envolvem conhecimentos de diversa natureza relacionados à Arqueologia, Museologia, Artes Visuais, Design, Ciência da Informação e Tecnologia da Informação (MOURA, GUEDES, WESOLOWSKI, 2022, p. 37).

Os processos de digitalização dos acervos em modelos tridimensionais foram otimizados com o tempo, utilizando técnicas como a fotogrametria de curto alcance e outras práticas de modelagem 3D. Isso permitiu economizar tempo na criação de materiais mais versáteis e adaptáveis para diferentes técnicas de criação e apresentação, como objetos móveis, imóveis e pequenos (QUATTRINI *et al*., 2020).

Diversas práticas de visualizações digitais formam novas estratégias de análises, interpretações, divulgação e preservação, possibilitando reconstruções históricas ao utilizar tecnologias de realidade virtual aumentada, mediando a relação do presente e passado com o público e o pesquisador.

Os meios tecnológicos de compartilhar qualquer pesquisa dão liberdade para que o processo de elaboração do conhecimento arqueológico possa ser mais reflexivo ou mais crítico, conforme apontado por Torres (2017), o que depende do viés teórico, dos objetivos e da estrutura metodológica do pesquisador.

Berggren *et al*. (2015) observam que tais formas de divulgação colaboram para um espaço maior e flexível para a produção do conhecimento, seja dentro ou fora do contexto de escavação.

---

[3] *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR).

Utilizando tecnologias de tridimensionalidade e Sistema de Informações Geográficas (SIG) ao criar um banco de dados para visualização e pesquisas em tempo real, referente aos diversos campos anteriormente escavados, a Arqueologia leva a academia a se engajar nas novas tecnologias, conforme destacado por Torres:

> Arqueologia não se restringe somente aos escopos disciplinares e interdisciplinares que estivemos acostumados. Ela extrapola as muradas da torre de marfim e se mistura a demandas mais amplas que se originam no seio da sociedade em busca por maior democracia no acesso à informação, estimulando e provocando a academia a reagir e a se engajar (TORRES, 2017, p. 12).

O engajamento das técnicas digitais no meio acadêmico ocorre de maneira tímida e sutil. Diversas universidades e instituições de ensino em Arqueologia não buscam preparar os futuros arqueólogos(as) para utilizar as novas tecnologias digitais, que se tornariam necessárias para o campo, laboratório e divulgação com as populações.

Seja por se prenderem a antigos métodos ou por acharem que certas práticas tecnológicas possam ser "deshumanizadas", por serem analisadas por detrás de telas de dispositivos móveis e computadores (TORRES, 2017), enfrenta-se o desafio de criar uma cultura digital dentro de laboratórios e grupos de pesquisa. Witchers, Zanettini e Tega (2017) apontam a importância de criar agentes capacitadores para essas práticas:

> (...) tendo como objetivo a capacitação de profissionais para o escaneamento e produção de modelos e réplicas impressas para diversas aplicações (musealização, conservação, pesquisa, educação, dentre outros), de modo a rompermos com as tradicionais barreiras que se interpõem entre objetos e pessoas, promovendo novas formas de acessibilidade ao patrimônio arqueológico, geralmente, posicionado em vitrines de museus ou guardadas em reservas técnicas das instituições. (WITCHERS, ZANETTINI, TEGA, 2017, 87).

A fotografia tem se mostrado uma das melhores ajudas no trabalho arqueológico, e novas formas de utilizar esse método surgiram para complementá-lo, como a fotogrametria digital.

A definição de fotogrametria deriva das palavras gregas "photos" (luz), "gramma" (escrito, desenhado), e "metron" (medir), ou seja, é a ciência de utilizar tecnologia para a obtenção de informações precisas de objetos, estruturas e ambientes através de imagens fotográficas, construindo um modelo digital tridimensional em um processo de medição e padrões de energias eletromagnéticas (TOMMASELLI, 2009).

A fotogrametria passou por três fases básicas de desenvolvimento: fotogrametria analógica (1901-1950), fotogrametria analítica (1951-1990) e fotogrametria digital (1990-presente).

Dentro da fotogrametria, temos campos distintos, como a fotogrametria métrica, que tem o objetivo de elaborar cartas topográficas e mapeamento, sendo um método de obtenção de dados quantitativos. Há também a fotointerpretação, que consiste em uma análise qualitativa de fotografias tiradas por satélites. Por fim, abordada mais adiante, temos a fotogrametria digital, especialmente a fotogrametria a curta distância.

Luhmann aponta a fotogrametria como uma prática de processamento de imagens, fornecendo informações tridimensionais precisas com aplicações que vão desde a documentação de patrimônio arqueológico até a cartografia.

O termo "fotogrametria" como entendemos atualmente, com o advento de novas tecnologias, foi proposto em 1979, assim como a definição.

As ideias que levaram à atual definição científica de fotogrametria advêm de muito antes da invenção da própria fotografia. Temos início com Aristóteles, por volta de 350 A.C., que propunha teorias sobre "projetar imagens por meio ótico" (TOMMASELLI e ANTONIO, 2009).

Já em 1492, Leonardo da Vinci apresentou graficamente princípios da ótica e da aerodinâmica, o que levou o alemão Albrecht Dürer a criar um “dispositivo mecânico para desenhar as perspectivas” (J. CHIMENTI, 1600) por volta de 1520, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2: Dispositivo mecânico para desenhar perspectivas a esquerda J. CHIMENTI, 1600); Estereograma a direita (J. CHIMENTI, 1600).

Johannes Kepler, alemão que produziu o primeiro estereoscópico (Figura 2), desenvolveu uma definição precisa de estereoscopia, que levou a estudos onde, por volta de 1720, o suíço F. Kapeller utilizou a técnica para a elaboração de cartas topográficas, iniciando futuros trabalhos sobre perspectivas e construção de mapas para autores do século XVII (TOMMASELLI, 2009).

A prática fotogramétrica começou a se desenvolver após a invenção da fotografia em 1840, quando passou a ser utilizada para levantamentos topográficos. Aimé Laussedat conduziu estudos utilizando balões para realizar as fotografias, focando no mapeamento com a fotogrametria terrestre e sendo reconhecido como o "pai da fotogrametria".

Com a invenção do avião, a criação de mapeamentos aéreos por meio de fotos se tornou ainda mais necessária, especialmente em períodos de guerras, e a fotointerpretação ganhou espaço.

Com o advento dos computadores, houve um grande progresso nas análises e processos da fotogrametria. Desde a década de 1980 até o presente, a fotogrametria digital cresceu, colaborando em práticas analógicas e analíticas, como a fotogrametria digital a curta distância.

É importante destacar que o registro tridimensional não substitui práticas de registros convencionais (desenho e fotografia), mas as complementa, uma vez que as impressões levantadas pelo arqueólogo no momento do levantamento de dados não nos dão resultados fixos, mas sim levam a mais questões. Estamos tratando de sociedades e todo grupo humano sempre foi complexo, cabendo ao arqueólogo utilizar as diferentes ferramentas para o levantamento e contextualização do sítio.

É responsabilidade dos arqueólogos realizarem a prospecção e construir hipóteses previamente, a fim de escolher uma estratégia para registrar cada detalhe que julgarem importantes (MAGALHÃES *et al*., 2018). Nesse contexto, o estudo arqueológico bibliográfico fornece um modelo de qualidade analítica muitas vezes superior às práticas convencionais, tornando a fotogrametria grandemente vantajosa.

Nos processos de divulgação e musealização, aplicam-se práticas de educação patrimonial, e com as técnicas de Arqueologia Virtual, é possível criar um acervo mais democratizado.

Um exemplo avançado de fotogrametria que foi aplicado em um jogo é a Catedral de Notre Dame no jogo Assassin's Creed Unity (Figura 3), na qual foi realizada uma fiel recriação digital, utilizando fotogrametria e scanners a laser (que criam nuvens de pontos e constroem um registro digital preciso, complementado pela fotogrametria digital)

Figura 3: Catedral de Notre Dame, gráfico do jogo Assassin's Creed Unity. The Verge, 2014.

As equipes responsáveis pela obtenção de dados realizaram uma varredura fotográfica em cada canto da catedral, com o objetivo de criar um edifício fiel à época em que se passa o jogo (Revolução Francesa). Com o incêndio em abril de 2019, o registro utilizado no jogo serviu como material de auxílio para a reconstrução da "flecha" no telhado que foi destruída no processo.

A construção de modelos arquitetônicos é mais complexa, pois exige habilidade no controle de drones, scanners e tecnologias de varredura a laser para realizar a fotogrametria do edifício (PIRES, 2007). Devido à falta de especialização nessa prática, há poucos que a utilizam, visto que envolve um processo de coleta de informações variadas e gestão de modelos tridimensionais complexos.

A reconstrução de edifícios antigos a partir de suas ruínas também se tornou uma das principais práticas da Arqueologia Digital, por ter um grande potencial sugestivo (GUIDI, RUSSO, ANGHELEDDU, 2013).

Um exemplo com fins acadêmicos é o projeto do grupo ARISE[4] (USP), o jogo interativo Sambaquis, que utiliza as práticas relatadas anteriormente. O projeto Sambaquis surge com elementos de RPG (Role Playing Game), que, em resumo, dá liberdade ao jogador para escolher seu curso de ação, acarretando em consequências que se encaixam na narrativa.

O jogo desenvolvido por arqueólogos (Figura 4) permite que o jogador vivencie o dia a dia de uma sociedade indígena por volta de 3 mil anos A.P. em uma paisagem do sambaqui

[4] Arqueologia Interativa e Simulações Eletrônicas.

brasileiro. Ele possibilita aos jogadores aprender sobre o cotidiano, com diálogos entre os personagens, e a busca por reunir recursos necessários para a subsistência.

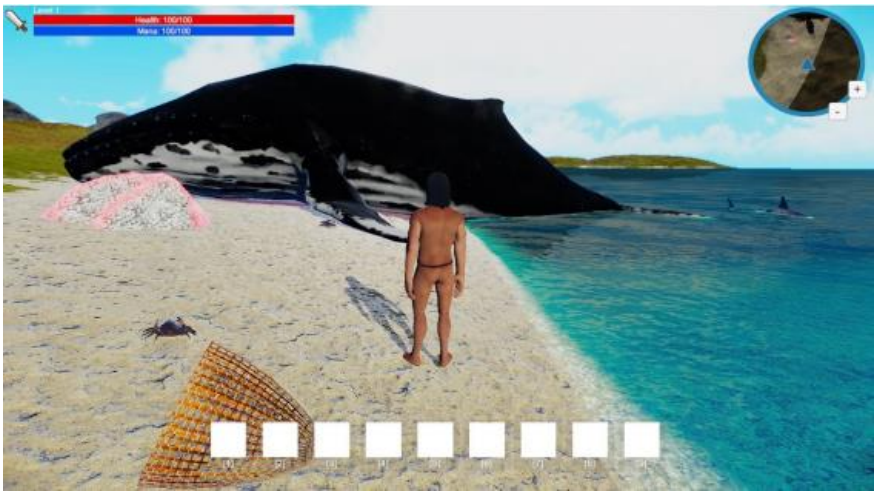

Figura 4: Ciberarqueologia aplicada a Sítios Concheiros: O Projeto Sambaqui interativo. Fonte: Martire *et al*., 2018.

O jogo possibilita perceber as diversas possibilidades que o registro arqueológico digital pode oferecer, ao utilizar um meio lúdico e divertido para ensinar sobre as sociedades sambaquieiras (MARTIRE *et al*., 2018).

Quando se depara com situações que impedem a realização da prática fotogramétrica, pode-se recorrer à modelagem tridimensional ou ao método direto (TORRES, 2017).

A modelagem tridimensional, utilizando imagens e documentos de referências do objeto, serve como agente auxiliar em ambientes digitais. Com ela, é possível elaborar construções e modelos de objetos que seriam difíceis de se obter fotos próprias para a fotogrametria (por falta de drones, especialistas em drones ou indisponibilidade do objeto para ser fotografado). Dessa forma, é possível criar modelos a partir de imagens de referências, realizando uma reconstrução com inúmeras possibilidades para a modelagem 3D.

Um exemplo desse uso é o projeto do Ergane[5] (UFRGS), no qual, a partir de imagens de referências, não só construíram um modelo fidedigno de um cachimbo Afro-Brasileiro (Figura 5), mas também reconstruíram a parte orgânica (madeira) perdida com o tempo. Além disso, com base em referências de bordas cerâmicas, foi possível reconstruir um vaso cerâmico inteiro (Figura 6).

[5] Um dos “apelidos” atribuídos a Atena na Grécia Antiga.

Figura 5: Cachimbo Afro-Brasileiro com Piteira, Ergane, Sketchfab, 2021.

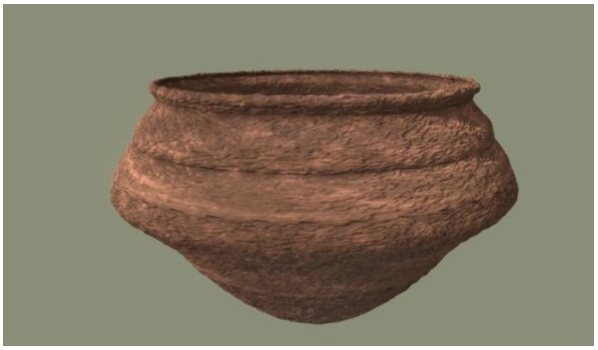

Figura 6: Cerâmica reconstruída a partir de imagens de referências, Ergane, Sketchfab, 2021.

O Blender, software utilizado para modelagem e reconstruções mostradas acima, utiliza a modelagem poligonal para criar objetos através de elementos simples, manipulando arestas, vértices e faces para criar quase qualquer coisa. O software também oferece a possibilidade de manipular e criar texturas, proporcionando liberdade para elaborar inúmeras possibilidades.

Criado em 1993 e atualmente mantido pela Blender Foundation, na Dinamarca, é um dos softwares gráficos mais populares no mundo, com múltiplas funções para elaborar modelos e animações 2D e 3D.

Com registros arqueológicos de uma edificação, a partir de elementos puramente geométricos e hipóteses reconstrutivas, é possível elaborar modelos que representem como uma construção poderia ser antigamente. Para isso, é necessário que um arqueólogo possua boas noções de estudos arquitetônicos, ou que um arqueólogo e um arquiteto trabalhem juntos, desde que ambos tenham conhecimento nos programas de modelagem tridimensional. É importante salientar que:

> (...) coletar tanta documentação sobre o artefato quanto possível, a partir de considerações arqueológicas, referências históricas escritas, topografia antiga, fontes iconográficas, lendas, usos locais, comportamentos e outros elementos relacionados com o presente e arranjos de contexto passado. Aqui a perícia necessária é histórica, arqueológico, artístico, filosófica e, em geral, humanista (...) (GUIDI, RUSSO, ANGHLEEDDU, 2013, p. 3).

Vale salientar o papel educacional e comunicativo, pois as práticas digitais se tornaram essenciais para a divulgação de informações e conhecimentos, ainda mais no contexto pandêmico da COVID-19 em que estivemos presentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os vestígios arqueológicos utilizados para a fotogrametria foram disponibilizados pelo Laboratório de Bioarqueologia (LABIARQ), da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus de Laranjeiras. Eles consistiam em indivíduos esqueletizados escavados na igreja da Matriz de Marechal Deodoro/AL, do período colonial, e amostras zooarqueológicas provenientes do Sítio Água Vermelha, reserva Indígena Caramuru Paraguaçu, localizado no Sul da Bahia, incluindo acompanhamentos de urnas funerárias.

A fotogrametria é uma ciência aplicada que requer conhecimento de iluminação, configuração da câmera fotográfica, ótica e ângulos necessários para capturar detalhes importantes com a finalidade de construir um modelo fiel e detalhado.

A escolha da fotogrametria para este projeto se deve à sua precisão na construção de modelos digitais 3D fidedignos, permitindo a obtenção de boas texturas importantes para o resultado final (P. CLINI *et al*., 2018).

Para realizar esse processo, são elaboradas etapas e estratégias antes da coleta de dados digitais. Inicia-se com um levantamento de dados bibliográficos, arqueológicos e imagéticos sobre o estudo de caso. Em seguida, define-se todo o material que será fotografado e sistematiza-se as ideias para que os pesquisadores envolvidos colaborem com suas especialidades nas diversas áreas do projeto.

A etapa final é a programação, quando se estabelece o método de interatividade entre o usuário e o registro 3D. Os dados são importados para sites, programas de visualização tridimensional ou até mesmo jogos.

Com isso, é possível construir uma amostragem dos dados coletados em formato tridimensional, acompanhada de uma descrição textual informativa que contextualize o material apresentado e proporcione uma mediação entre objetos e o público acadêmico ou em exposições.

Ao se aprofundar nos estudos da Arqueologia Digital, a obra "Principles of Seville" cita os princípios internacionais da Arqueologia Virtual[6] (método utilizado para criar um acervo digital). Estes princípios são a interdisciplinaridade, a utilização de meios tecnológicos no local de trabalho, a inclusão de literatura e documentação, bem como a utilização de modelos para (re)construção arqueológica.

[6] Disciplina científica que busca elaborar formas de visualização e aplicação virtual de patrimônio Arqueológico, para futuras interações.

É importante frisar a necessidade de rigor histórico nos modelos, os quais devem estar em consonância com análises realizadas previamente por outros pesquisadores e escavadores.

O método abordado neste estudo demonstra a eficiência da técnica em diversas situações, além de promover a transparência científica ao detalhar cada etapa de sua elaboração. Nessa abordagem, foram explorados os prós e contras, bem como as dificuldades e adaptações necessárias ao contexto do ambiente. Além disso, foi dada ênfase à formação e avaliação dos dados, compreendendo como eles podem contribuir para a pesquisa arqueológica, tanto em laboratório quanto no campo.

A escavação arqueológica é uma prática destrutiva, os profissionais Arqueólogos causam danos irreversíveis ao sítio no processo de intervenção e pesquisa, como afirma o egiptólogo Flinders Petrie em “Methods and Aims in Archaeology”, "o crime imperdoável da Arqueologia é destruir as evidências que nunca poderão ser recuperadas" (*Apud* TORRES *et al*. 2017).

A fotogrametria tem o potencial de auxiliar no paradoxo epistemológico das escavações. Esse paradoxo se refere as escavações arqueológicas, que ao serem realizadas implica na destruição do conjunto de dados *in-situ*, em que reproduz as informações recolhidas pelo(a) arqueólogo(a), enquanto as futuras revisões científicas e interpretações acabam se tornando problemáticas, quando preservados em coleções patrimoniais os artefatos arqueológicos tornam-se significativas fontes de dados para futuros pesquisadores.

Porém os contextos que estavam durante as escavações podem não existir. Esses registros de atividades humanas são preservados por técnicas convencionais, como fotografias e desenhos, contudo revelam uma visão subjetiva do pesquisador, prejudicando revisões posteriores (MAGALHÃES *et al*., 2018).

2.1.Amostras bioarqueológicas

As amostras analisadas e fotografadas para o método fotogramétrico são provenientes de inumados encontrados na Igreja da Matriz de Nossa Senhora da Conceição, localizada no centro histórico da cidade de Marechal Deodoro, no Estado de Alagoas.

É importante mencionar que os indivíduos apresentados não representam a totalidade dos escavados no Largo da Matriz. O objetivo aqui é destacar a utilização da fotogrametria e sua relevância no campo bioarqueológico.

A escavação foi realizada em 2017, conforme relatado no relatório de campo, e revelou a presença de material arqueológico em todos os locais prospectados, abrangendo tanto

períodos históricos como áreas pré-coloniais. Ao todo, foram encontrados 41 indivíduos na escavação em Marechal Deodoro (PINTO *et al*., 2018).

As fotografias dos indivíduos apresentados referem-se aos conjuntos IV e V. O primeiro conjunto foi escavado na parte de trás da Igreja da Matriz Nossa Senhora da Conceição, enquanto o segundo foi encontrado no adro, uma parte lateral da igreja. Nessas áreas, foram identificadas grandes incidências de indivíduos totalmente e parcialmente articulados, bem como crânios isolados com ossos dispersos, conforme ilustrado na figura 7.

Figura 7: Indivíduo 11, conjunto 5. 7(a): à esquerda crânio com parte do maxilar fragmentado; 7(b) à direita, foco na manipulação dentária intencional. Carvalho & Carvalho, 2022.

No laboratório, os vestígios ósseos são armazenados em caixas plásticas, sendo cada peça anatômica envolvida em plástico bolha e acompanhada por etiquetas informativas. Para realizar análises e manuseio dos indivíduos, é imprescindível o uso de máscaras, luvas e jalecos descartáveis, a fim de prevenir possíveis contaminações por vestígios microscópicos.

Quanto aos registros zooarqueológicos, eles provêm do Sítio Água Vermelha, localizado na reserva Indígena Caramuru Paraguaçu, situada no Sul da Bahia, na região de Morro do Chapéu. Esses registros incluem uma mandíbula cortada e um fêmur com marcas de corte e polimento, pertencentes ao Porco do Mato (*Pecari Tajacu* ou *Caititu*), conforme ilustrado na Figura 8. Esses vestígios foram encontrados como acompanhamentos de urnas funerárias (CARVALHO, ETCHEVARNE e QUEIROZ, 2019).

Figura 8: À esquerda, mandíbula esquerda cortada de Caititu, à direita fêmur polido e cortado de Caititu, Carvalho, Etchevarne e Queiroz, 2019.

As amostras osteológicas foram selecionadas devido à sua complexidade em relação ao registro fotogramétrico e sua comparação com outros tipos de objetos. Sua superfície apresenta desafios únicos, tornando esse processo mais complexo e exigindo uma abordagem cuidadosa para garantir a precisão dos resultados.

2.2.O método fotogramétrico

O método central abordado neste estudo é a fotogrametria de curto alcance, que se refere à técnica utilizada quando a distância entre a câmera e o objeto varia de centímetros até 200 metros. O objetivo é mostrar a possibilidade de construir um registro digital tridimensional de forma economicamente acessível e prática para qualquer pesquisador.

A fotogrametria é uma metodologia amplamente empregada em diversas áreas, além da Arqueologia, como Arquitetura, Medicina e Engenharia, considerando sempre a proximidade entre a câmera e o objeto a ser fotografado (TEMBA, 2000).

Ao aplicar a arqueologia digital, que auxilia análises e reconstruções futuras, a fotogrametria oferece várias vantagens e também enfrenta desafios específicos. Entre as vantagens destacam-se: a capacidade de fornecer dados imagéticos de alta qualidade em comparação com dados bidimensionais e a natureza não intrusiva, que não requer interação direta entre o arqueólogo e o objeto a ser registrado, evitando assim impactos em objetos sensíveis, como ossos humanos e restos de animais domesticados. Além disso, essa abordagem preserva o contexto ao construir um ambiente tridimensional da escavação.

A característica de armazenamento digital torna os dados facilmente compartilháveis e armazenáveis em nuvem, permitindo que outros pesquisadores futuramente

utilizem as fotografias de pesquisas anteriores e as aprimorem com tecnologias mais avançadas, levando a novos questionamentos e análises.

No entanto, existem pontos que podem levar a possíveis erros. Um deles é a falta de controle sobre os dados coletados durante o uso do software de fotogrametria, pois fotos incorretas nem sempre podem ser identificadas previamente, sendo necessário desenvolver conhecimento prévio sobre os softwares e praticar técnicas de fotografias analíticas para se familiarizar com estratégias em diferentes cenários de aplicação.

Outra limitação está relacionada à necessidade de câmeras de qualidade para obter melhores resultados. No entanto, atualmente, os smartphones estão equipados com câmeras cada vez mais avançadas, o que possibilita utilizá-los para essa prática. É importante destacar a importância do cuidado com a iluminação, buscando uma luz ambiente homogênea e minimizando efeitos de sombras.

Por fim, a maior limitação da fotogrametria ocorre quando lidamos com superfícies reflexivas e móveis, como água, vidro e grama, entre outros. Nessas situações, os softwares podem apresentar limitações na criação do modelo, porém, uma abordagem alternativa é a modelagem poligonal, que é menos precisa, mas pode ser uma opção complementar para o registro digital.

Na prática, observa-se que a fotogrametria digital de curto alcance reduz significativamente o tempo necessário para o levantamento da documentação arqueológica, contribuindo em diversos contextos (MAGALHÃES *et al*., 2018).

> Uma das críticas da retirada de sepultamentos em bloco é a perda do seu contexto estratigráfico, pois passa a existir um corte artificial na estratigrafia original. No entanto, a fotogrametria apresenta-se vantajosa mais uma vez, à medida que permite realizar um levantamento da área de escavação e do sítio, partindo do perfil onde foi extraído o bloco com sepultamento, possibilitando a criação do modelo 3D do sítio e do bloco para que, posteriormente, ambos possam ser encaixados na sua posição original. Desta forma, não se perdem informações estratigráficas e o processo de escavação do bloco, em laboratório, pode contar com uma ferramenta de auxílio visual (MAGALHÃES *et al*., 2018, p 200).

Os modelos tridimensionais criados por meio da fotogrametria são definidos como modelos geométricos, representando a teoria posta em prática em um ambiente computacional com o objetivo de simular, formar e representar elementos ou objetos para diversas finalidades (AMORIM, 2012).

Existem três principais formas de obter esses modelos: por meio de ferramentas CAD ou modelagem, sistemas de varredura a laser e a metodologia abordada neste estudo, a fotogrametria digital (BASTIAN, 2015).

De acordo com Bastian, esses modelos digitais são compostos por formas de representação tridimensionais, que abrangem todo o corpo do modelo e possibilitam a sua observação individualmente. Primeiramente, temos a nuvem de pontos obtida na fotogrametria, por meio de uma prática chamada Dense Stereo Matching (DSM). Esses pontos são construídos seguindo coordenadas cartesianas (X, Y e Z), sem estabelecer relações topológicas entre si, porém, mantendo a forma e as cores do modelo fotografado anteriormente. Esse tipo de representação é adequado para uma visualização simples, mas não apresenta topologia.

Os modelos de arestas (wireframe) consistem nas arestas que compõem o corpo do modelo, conectadas através de vértices, proporcionando uma representação precisa e simplificada. No entanto, é importante observar que esses modelos podem ser ambíguos na representação, tornando difícil identificar, por exemplo, quais arestas estão na frente do corpo do modelo e quais estão nas faces posteriores. Apesar disso, eles são elementos fundamentais em qualquer construção fotogramétrica.

A fotogrametria também pode formar modelos de superfícies, nos quais várias informações, como faces, arestas e vértices, se combinam para criar uma estrutura visual externa, mas sem permitir a visualização do interior do objeto. Já os modelos sólidos são constituídos com informações não ambíguas sobre a superfície, oferecendo a vantagem de serem fechados e apresentarem uma superfície definida conforme o corpo do objeto fotografado.

Embora a fotogrametria tenha a capacidade de recriar digitalmente toda a extensão de um objeto ou estrutura, há limitações quando se trata de representar detalhes internos, como no caso de um crânio, devido à impossibilidade de fotografá-los adequadamente com o método fotogramétrico. Nessas situações, é recomendado o uso de scanners para alcançar esse objetivo.

De acordo com Luhmann (2016), a fotogrametria digital leva em consideração a distância entre a câmera e o objeto, a quantidade de imagens obtidas durante o processo, o método de processamento, as áreas de aplicação e a obtenção de dados, destacando as técnicas que colaboram para um trabalho arqueológico efetivo.

Seguindo as etapas sugeridas por Bastian (2015), a obtenção do registro inicia-se coletando as informações do objeto e determinando os pontos de controle, os ângulos a serem fotografados e as dimensões de referência. A etapa seguinte é a orientação, que é responsável por:

> "...ajuste dos feixes de raios perspectivos (*bundle ajustment*) que determinará os parâmetros de orientação bem como, a correlação dos pontos de

> controle (obtidos na etapa de campo) com os pontos da imagem. " (BASTIAN, 2015, p. 4).

E, por fim, a restituição, com a orientação planejada, possibilita a aquisição de informações geométricas e gráficas sobre o objeto fotografado, realizando o processo de transição do bidimensional para o tridimensional e estabelecendo uma relação entre o objeto e o espaço.

Foi observado que a fotogrametria digital de curto alcance reduz significativamente o tempo necessário para a criação da documentação arqueológica, sem comprometer a precisão e o rigor científico. Como destacado por Magalhães, Berredo e Gaspar (2018, p. 196), "a interpretação do modelo 3D é tão importante quanto as técnicas dos desenhos das seções de perfis estratigráficos."

2.2.1. Agisoft Metashape

O software utilizado é o Agisoft Metashape (anteriormente conhecido como Agisoft PhotoScan), uma ferramenta voltada para a fotogrametria, com diversas técnicas e finalidades, desenvolvido pela Agisoft LLC, localizada em São Petersburgo, Rússia. O software está disponível em duas versões: Standard[7] e Pro. A primeira oferece tarefas para a criação de mídias interativas tridimensionais, enquanto a segunda é destinada à criação de modelos GIS (Sistema de Informação Geográfica), voltados para a construção de dados geográficos e georreferenciados.

Por meio do processamento de imagens obtidas de diferentes ângulos através de câmeras digitais, conhecido como triangulação fotogramétrica, e a elaboração de nuvens de pontos densas, o Agisoft Metashape é capaz de criar modelos 3D precisos a partir das fotografias processadas no programa, resultando em modelos 3D com texturização.

Esse software é amplamente utilizado em sítios arqueológicos, edifícios, artefatos e outros objetos, fornecendo funções práticas, como a possibilidade de upload para transmissão de dados entre computadores e recursos online para exportação dos modelos em diversos formatos, incluindo texturas "fotorealistas".

A versão Pro possui todas as funcionalidades mencionadas acima, além de recursos adicionais voltados para georreferenciamento, processamento de imagens de satélite, medições de volumes e distâncias aéreas, e geração de Modelos de Elevação Digital (DSM - Digital

[7] Versão utilizada pelo autor.

Surface Model e DTM - Digital Terrain Model), embora esses recursos não tenham sido explorados neste estudo de caso específico.

2.2.2. Fotogrametria em prática

Ao definir o objeto para o procedimento, inicia-se posicionando os artefatos a serem fotografados em um local fixo, com iluminação o mais homogênea possível. Por exemplo, a luz natural a céu aberto é uma opção adequada, facilitando a prática ao ar livre. No entanto, no caso do Laboratório de Bioarqueologia da UFS, devido à falta de iluminação adequada, foram realizados dois testes para encontrar a melhor configuração.

No primeiro teste, a câmera foi calibrada para receber pouca incidência de luz, usando um ISO[8] superior próximo a 1000, em fotografias ao ar livre. No entanto, verificou-se a ocorrência de sombras devido a fatores externos, como mostrado na Figura 9.

No segundo teste, o flash da câmera foi utilizado juntamente com um ISO de 80 a 100. Esse ajuste permitiu capturar apenas os detalhes e a iluminação fornecida pelo flash da câmera, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 9: Indivíduo conjunto V, sítio arqueológico Largo da Matriz fotografado com luz natural, ISO alto. Modelo incompleto apenas para demonstração da iluminação. Autor, 2022.

[8] ISO foi definido pela International Organization for Standardization, originando seu nome.

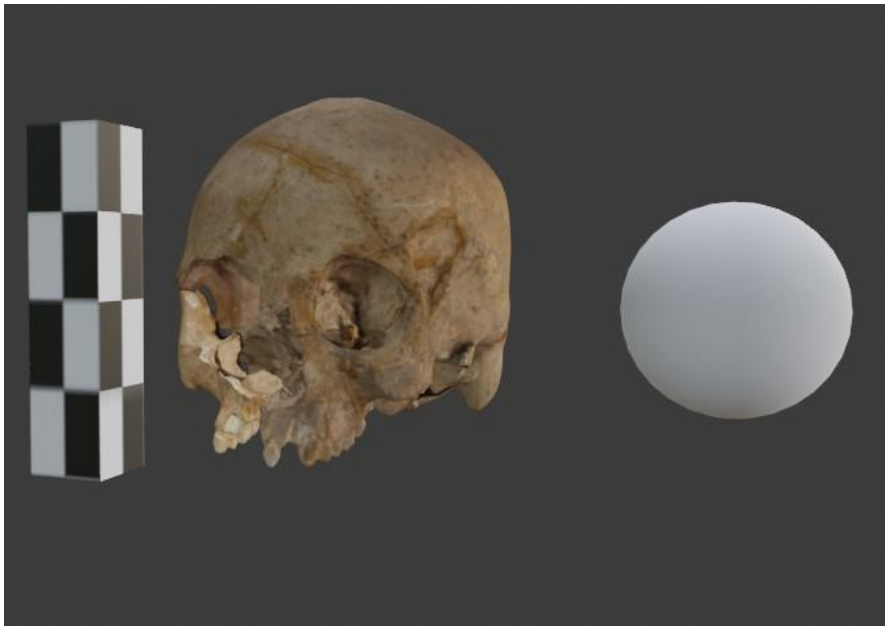

Figura 10: Indivíduo n° 11 digitalizado em modelo 3D com escalas de 20 cm no formato retangular, e globo com 10 cm de circunferência, a partir da prática fotogramétrica com ISO 80, e uso de flash. Fonte: Autor, 2022.

Esses testes foram fundamentais para garantir a qualidade das fotografias e a obtenção de imagens claras e bem iluminadas dos artefatos, essenciais para o sucesso do procedimento de fotogrametria e a criação de modelos tridimensionais precisos e detalhados.

A velocidade do obturador também desempenha um papel crucial ao utilizar a câmera fotográfica para registros fotogramétricos. Ele controla o tempo que a câmera leva para abrir e fechar, regulando a quantidade de luz que chega ao sensor fotográfico para formar a imagem (GOMIDE, 2022). Optar por uma velocidade mais alta do obturador reduz as chances de as fotos apresentarem ruídos indesejados. Portanto, é recomendado utilizar a configuração com a maior velocidade disponível na câmera.

Outro fator importante é o valor do diafragma, que controla a quantidade de luz capturada pelo sensor, influenciando na claridade ou escuridão da imagem. Na fotogrametria, é aconselhável utilizar valores baixos de diafragma, como o valor de F8.

Para a obtenção das fotos, foi utilizada uma câmera digital Canon semiprofissional. No entanto, é possível empregar também as novas câmeras de smartphones para esse processo. Vale ressaltar que melhores câmeras proporcionam resultados mais nítidos e de melhor qualidade ao gerar os modelos no Agisoft. Além disso, contar com computadores mais potentes agiliza o processamento dos dados.

A aquisição de dados está baseada em três aspectos: o que, onde e quando. O primeiro é determinado pelo objeto de estudo, sendo mais efetivo para objetos com bordas definidas e sem superfície reflexiva, já que esta última pode gerar erros nos softwares. Objetos muito complexos exigem maior atenção e podem necessitar de adaptações na posição ao tirar as fotos.

Superfícies reflexivas e transparentes também podem se tornar inviáveis para o processo, pois o programa pode confundir certos pontos de foco devido aos reflexos criados entre a luz e a superfície, que se alteram visualmente com a mudança de posição na hora da fotografia.

Quanto ao local de execução, é preferível optar por locais com boa iluminação, seja um laboratório bem iluminado ou um ambiente ao ar livre, possibilitando práticas laboratoriais e em campo.

Um fator crucial é o momento em que as fotos são tiradas, e o clima pode desempenhar um papel colaborador ou prejudicial nesse aspecto. Em cenários a céu aberto, chuvas e ventanias podem mover grãos, plantas e pequenos objetos, prejudicando seriamente as fotos e tornando inviável o registro fotogramétrico. É essencial que o ambiente tenha uma superfície estática para captar cada detalhe com precisão (LACHAMBRE *et al*., 2017).

Dias ensolarados oferecem bons resultados para o procedimento, mas é importante evitar o contato direto com a luz solar para evitar sombras fortes e garantir uma iluminação homogênea. Luzes e sombras excessivas podem dificultar a análise dos resultados, portanto, é fundamental ter cuidado e atenção com a iluminação durante o processo. É necessário considerar que:

> Peças com pouca variação de superfície são mais difíceis de serem digitalizadas. O software trabalha com associação entre forma e cor, e quando nenhum destes elementos varia ele acaba não conseguindo fazer uma boa correlação das imagens, obtendo resultados pouco satisfatórios.” (GOMIDE, 2022, p.51).

Em ambientes fechados, há um maior controle sobre as condições, enquanto ao ar livre, a prática pode depender significativamente das condições climáticas. No entanto, é possível adotar estratégias para construir um cenário mais favorável para as fotos.

O processo de captura inicia-se com a produção das fotos em um sentido de circunferência (Figura 11), garantindo uma sobreposição superior a 70% de cada foto do lado (Figura 12). É importante tirar as fotos de diferentes ângulos, começando por um ponto central

e depois capturando abaixo, acima e verificando se os detalhes mais escondidos foram devidamente fotografados.

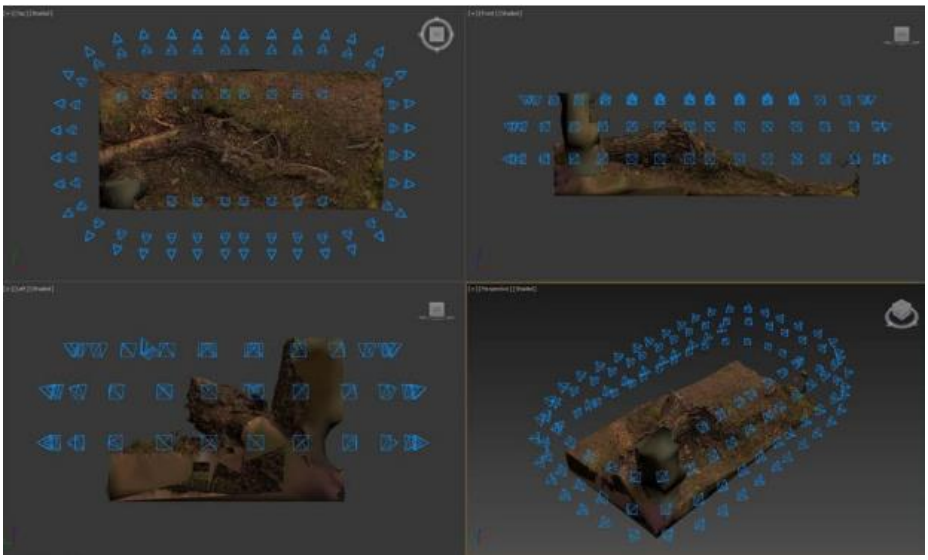

Figura 11: As imagens acima apresentam os locais que as fotos foram tiradas, tendo como peça central o modelo gerado pelo programa, captura de tela do 3dsMax (software de fotogrametria). Unity photogrametry workflow, 2017.

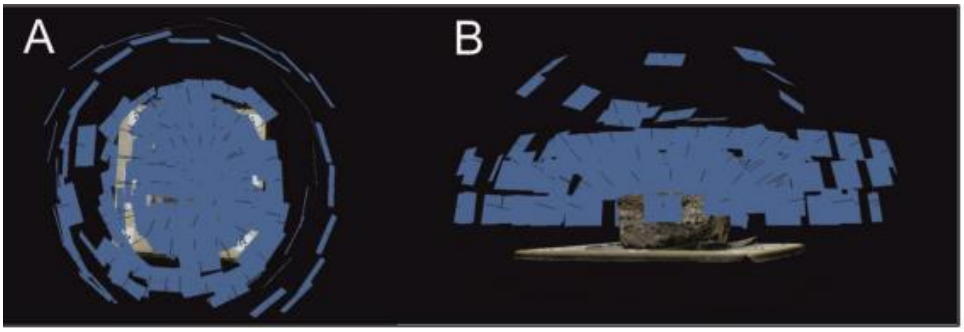

Figura 12: As imagens acima mostram um trabalho utilizando o Agisoft Metashape. Os retângulos azuis indicam as posições das câmeras geradas automaticamente pelo programa. Magalhães *et al*., 2018.

A metodologia empregada nesse estudo é conhecida como 'monorrestituição', que consiste em obter as fotografias de forma que cada ponto do objeto esteja visível em pelo menos duas imagens, com uma sobreposição de pelo menos 70%, circundando o objeto. Os ângulos de intersecção podem variar conforme a necessidade, sendo recomendados ângulos de 45 e 90 graus para uma maior precisão, evitando ângulos muito fechados (GROETELAARS, 2004).

No laboratório, foram utilizadas escalas de referência para que os modelos não sejam apenas detalhados, mas também informativos em relação às suas dimensões, auxiliando em escalas 3D posteriores.

Ao finalizar as fotos de um lado, é necessário virar o objeto de estudo para fotografar o lado oposto, repetindo o método descrito e captando todos os detalhes. É fundamental capturar ambos os lados do objeto para que seja possível gerar o modelo 3D completo.

Nesse processo, é vantajoso organizar as fotos em pastas no computador, separando as fotografias tiradas com o objeto virado para cima e as tiradas com o objeto virado para baixo. Isso facilita o trabalho e a posterior unificação dos lados para gerar o modelo completo.

Com as fotos coletadas, sendo por câmera fotográfica ou smartphone, é exportado para o computador, e com o Agisoft Metashape - software utilizado para fotogrametria a curta e longa distância (figura 13) - já instalado, com as fotos salvas em uma pasta, é transferido para o programa, dando início ao procedimento.

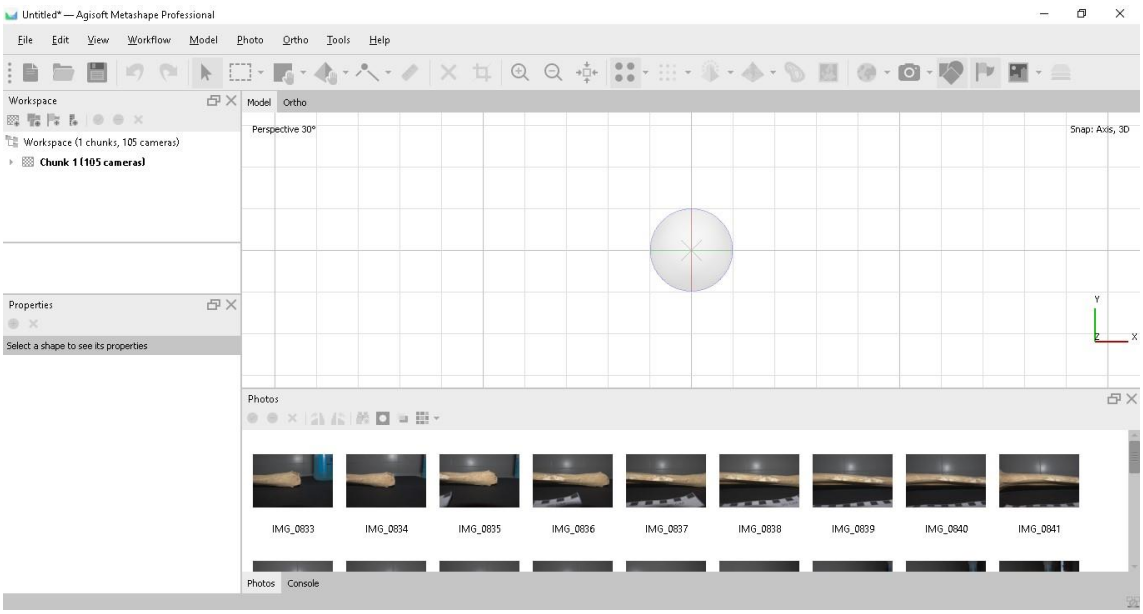

Figura 13: Interface do Agisoft Metashape. Fonte: Autor 2022.

Ao acessar o Workflow, localizado na barra de cima, segue por adicionar as fotos JPG ou JPEG ao programa no Add Photos ou levando-as para a área em branco na parte inferior da interface, escrito photos. Adicionado um novo Chunk (figura 14), foi repetido o processo de adicionar as fotos no segundo Chunk, com as fotos tiradas do outro lado do objeto, para que mais na frente se torne possível criar dois modelos, um de cada lado e finalizar unindo ambos os lados em um só modelo.

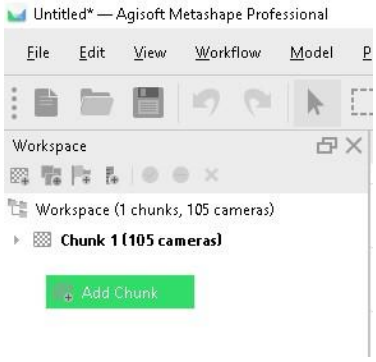

Figura 14: Etapa de criação dos Chunks trabalhados, Fonte: Autor, 2023

Após isso, no primeiro Chunk, clicar novamente em Workflow e selecionar a opção Align Photos e escolher o nível de acurácia (Figura 15), fazendo com que o software analise cada foto cuidadosamente, identificando as direções que foram tiradas, se há discordâncias entre as imagens, qual o modelo central do processo e as fotos que apresentarem erros automaticamente não serão utilizadas.

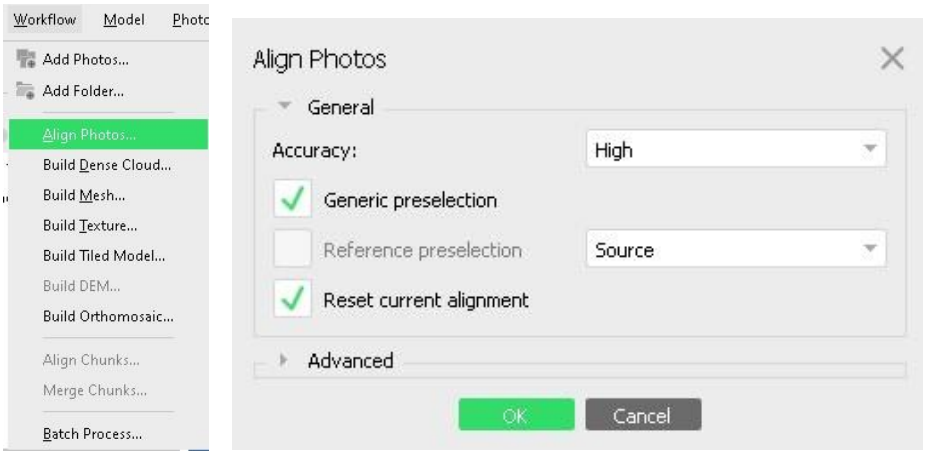

Figura 15: Etapa de Align Photos. Fonte: Autor, 2022.

Na etapa seguinte, é observado uma série de pontos na área principal (vista 3D), no formato da peça ou estrutura, são as nuvens de pontos (Figura 16). Cada um desses pontos representa as fotos que se coincidem no mesmo local (por isso necessário a sobreposição de 70%), elementos que preservam os detalhes do objeto sem distorções, logo quanto mais fotos, maior a precisão, onde cada ponto da nuvem é descrito por suas coordenadas cartesianas (x, y e z).

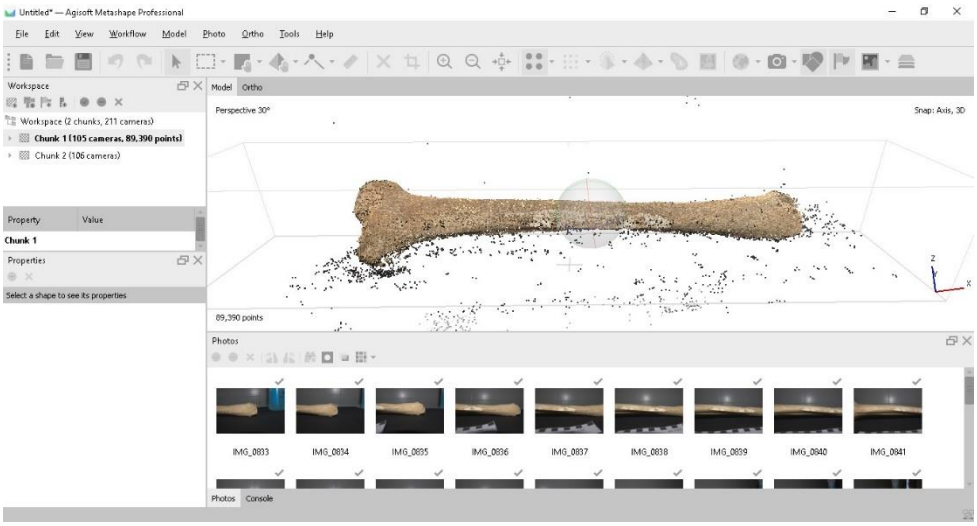

Figura 16: Tíbia humana gerada em nuvens de pontos. Fonte: Autor, 2022

É possível ver os indicadores de onde cada as imagens foram fotografadas com o comando Show Cameras (Figura 17).

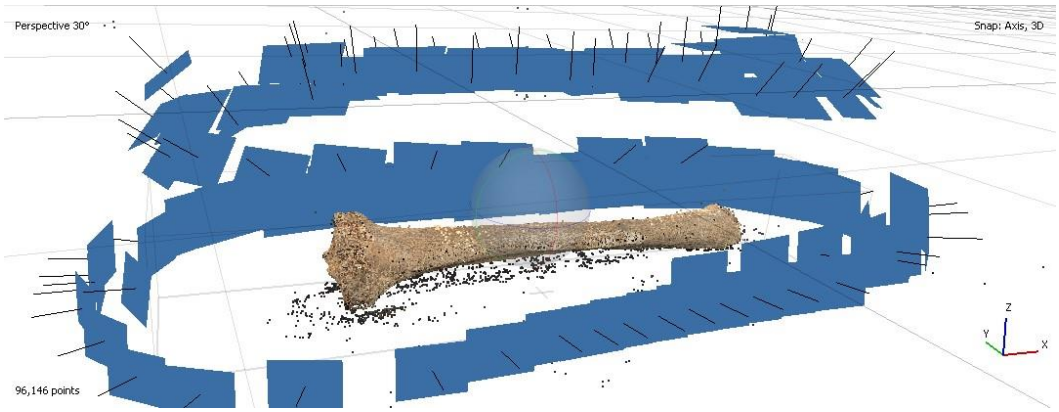

Figura 17: Os retângulos em azul indicam onde cada imagem foi fotografada. Fonte: Autor, 2022.

Ao finalizar a etapa anterior, se constrói uma nuvem densa, ou dense cloud na barra workflow (Figura 18) e selecionar o nível de qualidade do modelo. Após os resultados, é notado que a nuvem de pontos se tornou densa e mais semelhante ao modelo desejado, com inúmeros pontos sobrepostos prontos para a unificação da etapa seguinte.

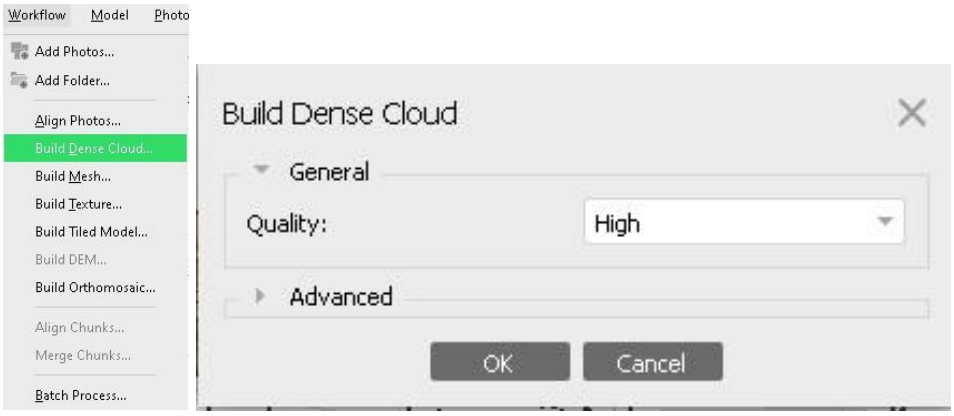

Figura 18: Etapas descritas acima para o Build Dense Cloud. Fonte: Autor, 2022.

Pode apresentar “falhas”, o programa costuma captar pontos de objetos e figuras ao redor do objeto focado gerando informações indesejadas, dados que devem ser editados no mesmo software, é um procedimento simples ao utilizar uma ferramenta de selecionar os pontos que não desejados e deletá-los como na figura 19.

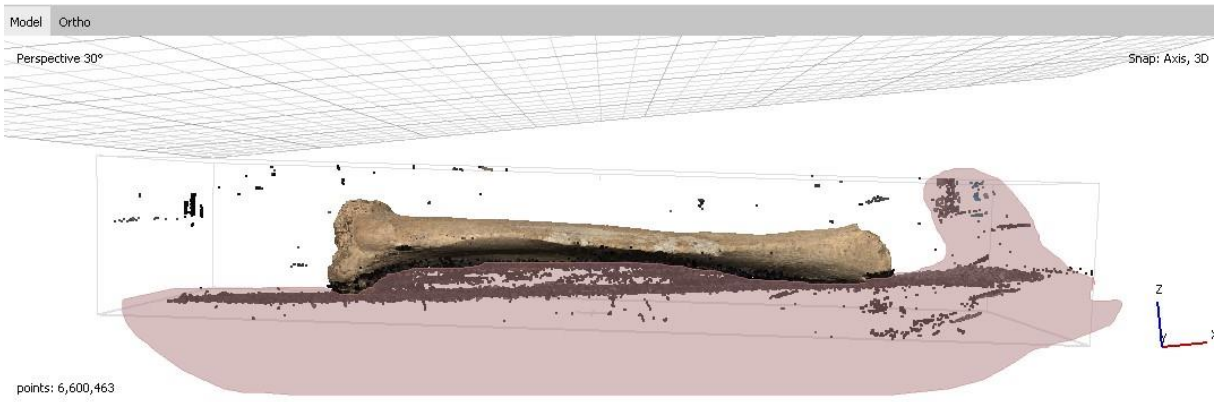

Figura 19: Modelo na etapa de nuvem de pontos densa, área em cor de rosa representa o local selecionado para deletar pontos indesejáveis. Fonte: Autor, 2022.

Logo essa nuvem densa é transformada em uma malha ou mesh, ao seguir as etapas, Workflow, Build Mesh (Figura 20). Os pontos passam a ser uma única superfície, se tornando um modelo sólido e sombreado.

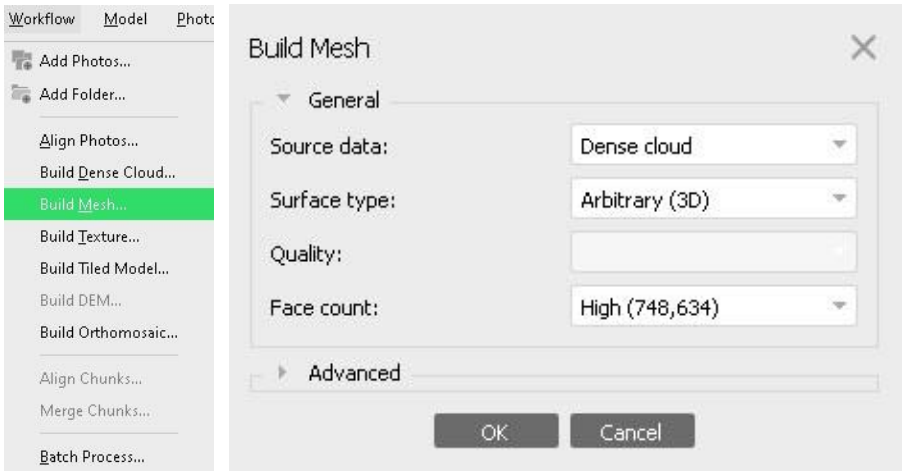

Figura 20: À esquerda, indicando a etapa seguinte, a direita, mostrando o face count e os números de faces que constituíram o modelo final. Fonte: Autor, 2022.

É notado a influência das cores do objeto no sombreado ou shaded, e a malha completa lisa, sólido ou solid, onde a superfície do objeto não apresenta a influência de sombreamento, ambas unindo todos os pontos em uma superfície única com centenas ou até milhares de pequenas faces que compõe cada detalhe e ângulo do objeto (Figura 21).

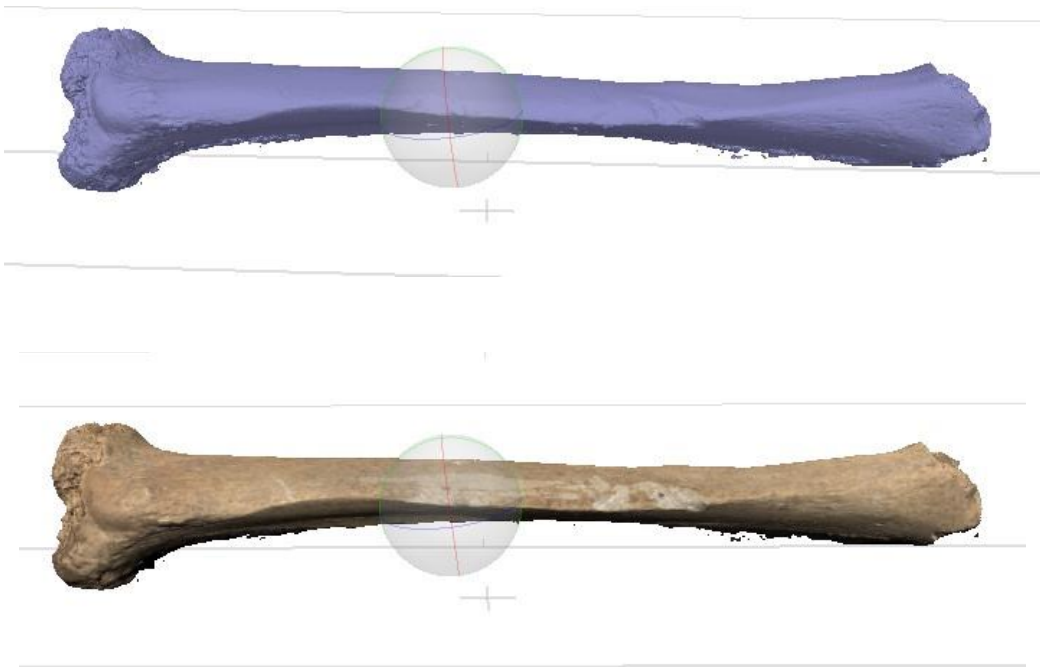

Figura 21: O mesmo modelo em duas visualizações distintas, acima o solid, abaixo o shaded, Fonte: Autor, 2022.

Em seguida, prossegue a etapa de importar as Masks do Chunk 1 (figura 22), que é a textura ou molde de cada foto que constitui os detalhes do modelo (figura 23), para utilizar em etapas mais à frente descritas ao unificar os dois modelos construídos, ou, os dois Chunks.

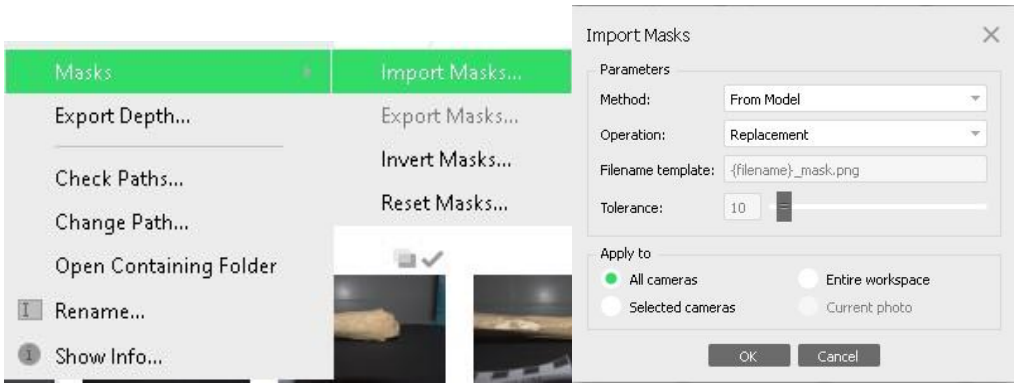

Figura 22: Etapas para criar e importar as masks. Fonte: Autor, 2023.

Figura 23: Exemplo de mask que forma em cada foto, delimitado por linhas branca, para a texturização na etapa final. Fonte: Autor, 2023.

Com isso, o modelo do primeiro Chunk está completo, contudo, é necessário trabalhar etapas anteriores selecionando o segundo Chunk. Repetindo as etapas Align Photos, Build Dense Cloud, e eliminar os pontos indesejados (no segundo Chunk não é necessário criar o Mesh), para modelar o outro lado do modelo.

Logo se inicia a fase de unir ambos os modelos, novamente na barra Workflow selecionando a opção Align Chunks, essa ferramenta irá alinhar as nuvens de pontos dos Chunks 1 e 2 proporcionalmente de maneira a parecerem um só (Figura 24). Para visualizar se

a etapa citada ocorreu bem, basta clicar em Show Aligned Chunks conforme mostra a figura 25.

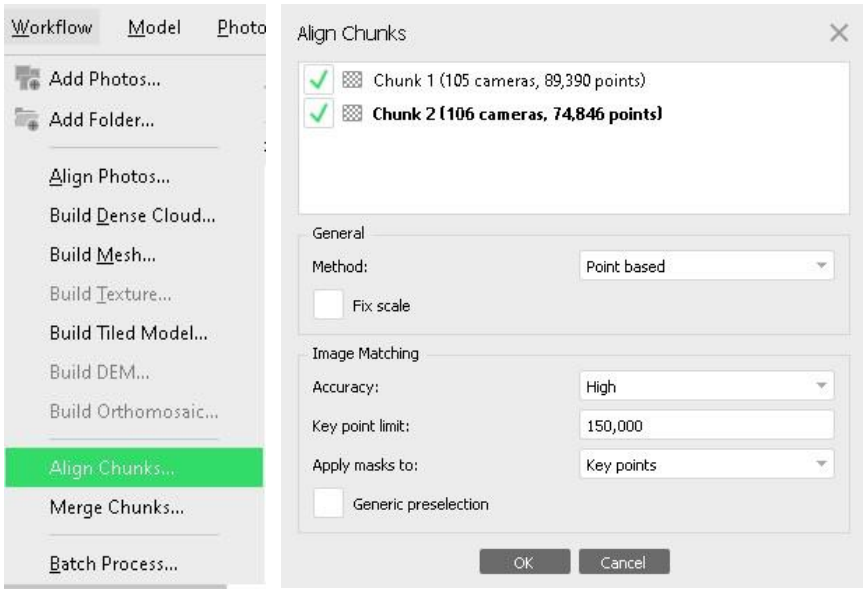

Figura 24: Etapas para o alinhamento dos Chunks, nota verificar o Method, Accuracy, Key point limit e Apply masks seguindo as configurações mostradas na imagem. Fonte: Autor, 2023.

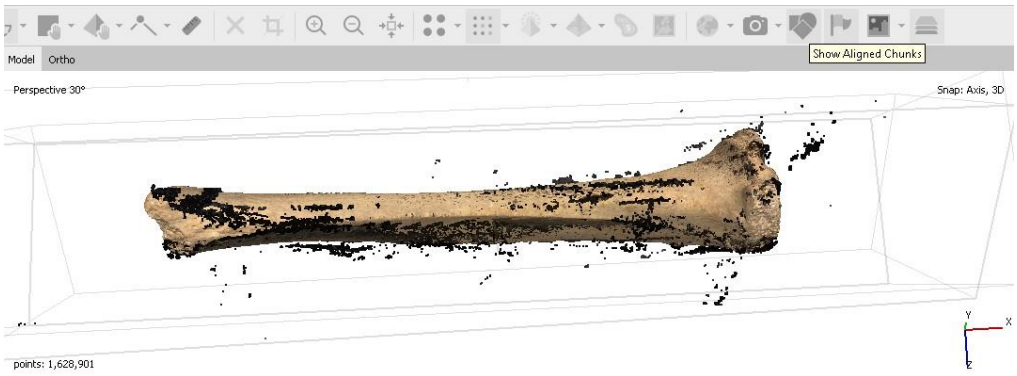

Figura 25: Show Aligned Chunks, presente na barra superior, último ícone a direita. Fonte: Autor 2023.

Após o alinhamento dos pontos elaborado nos dois Chunks, segue o procedimento de fundir, com a ferramenta disposta no Workflow, o Merge Chunks, que irá por definitivo unir ambas as Dense Clouds para edição. Ao efetuar essa etapa, importante selecionar a origem da fundição dos Chunks, exemplificado na figura 26.

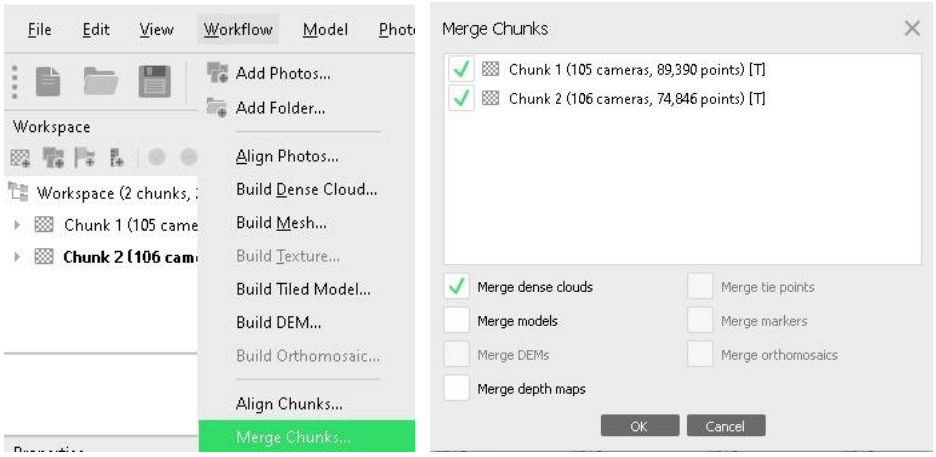

Figura 26: Etapas para fundir os ´pedaços`, selecionar a opção a partir do Merge dense cloud.

A partir disso, o modelo está com todos os lados fotografados unidos em um só, contudo apresenta falhas e sombras indesejadas que podem ser retiradas facilmente. Ao selecionar o modelo fundido na Workspace (o Mergerd Chunk), e prosseguir com o comando Dense Cloud Confidence (Figura 28), o programa irá mostrar com cores frias e quentes, os níveis de ‘confiança’ dos pontos no modelo.

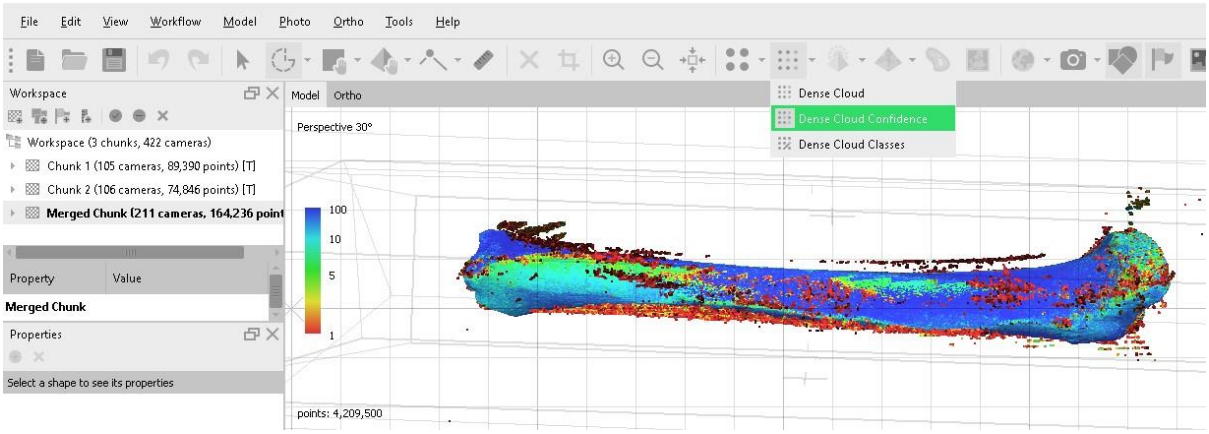

Figura 27: Etapa para o Dense Cloud Confidence. Fonte: Autor, 2023

No Dense Cloud Confidence, os pontos que compõe o modelo, são apresentados com cores vivas, sendo elas frias e quentes. As cores frias (azul e verde) apresentam maiores níveis de ‘confiança’, que é o nível de fidelidade ao modelo proposto sem a presença de falhas.

Já os pontos com cores quentes (laranja e vermelho), são os pontos indesejados, formados por ruídos das fotos processadas nas etapas anteriores.

Com essa visualização se torna possível eliminar os ruídos em um comando prático, ao selecionar os pontos de cores quentes na ‘barra de escala de cores para confiança’. Essa escala funciona da seguinte maneira, o raio definidor da confiança tem uma numeração que vai do 0 ao 255, com os valores mínimos sendo as falhas.

Para eliminar os ruídos, seleciona na barra superior o Tools, seguindo para a opção Dense Cloud, em seguida seleciona a opção Filter by Confidence (Figura 28), que irá abri uma janela para digitar em valores numéricos, os números que correspondem aos ruídos (Figura 29).

Figura 28: Seleção para o Filter by Confidence. Fonte: Autor, 2023.

Figura 29: Janela para selecionar os pontos confiáveis e/ou ruídos. Fonte: Autor, 2023.

Na janela do Select Confidence Range, seleciona valores menores, para eliminar as falhas (Figura 30). Então o modelo irá apresentar somente as falhas para facilmente deletar com o comando de seleção e delet (Figura 31).

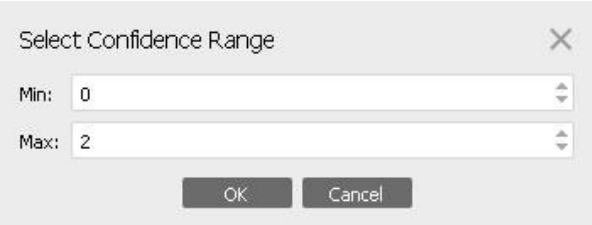

Figura 30: Select Confidence Range com valores mínimos que representam as falhas. Fonte: Autor, 2023.

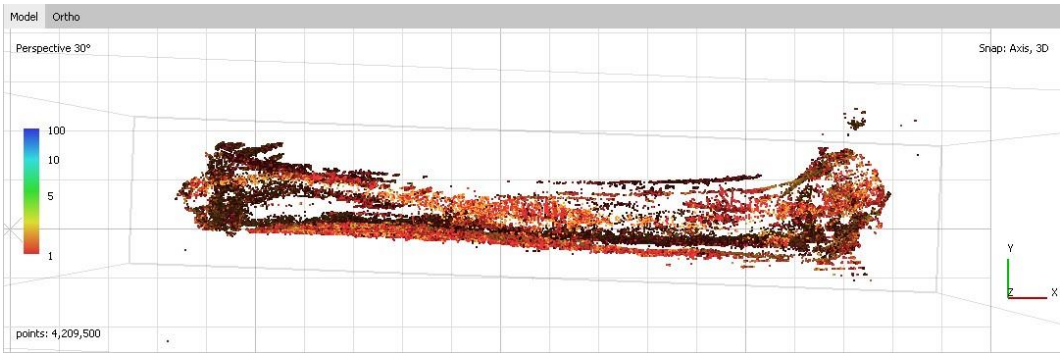

Figura 31: Os pontos com valores de 0 a 2 representam os ruídos para serem deletados. Fonte: Autor, 2023.

Em seguida repita a etapa para abrir a janela do Select Confidence Range, e colocar os valores mínimo 0 e máximo 255 para que o modelo sem ruídos apareça na tela (Figura 32).

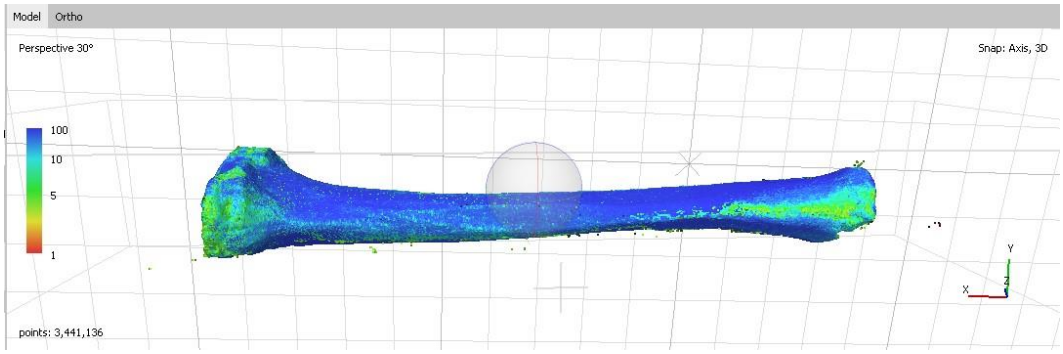

Figura 32: Modelo sem ruídos, quanto mais azul, maior o nível de confiança. Fonte: Autor, 2023.

Após eliminar os pontos indesejados, segue para construir o modelo completo sólido, selecionando no Workflow, a opção Build Mesh.

Por fim, é construído uma textura, com todos os dados coletados. A textura é essencial para o realismo final do modelo, é a camada que apresenta as cores, sombras, e os mínimos detalhes. Pela última vez acessando o Workflow (Figura 33).

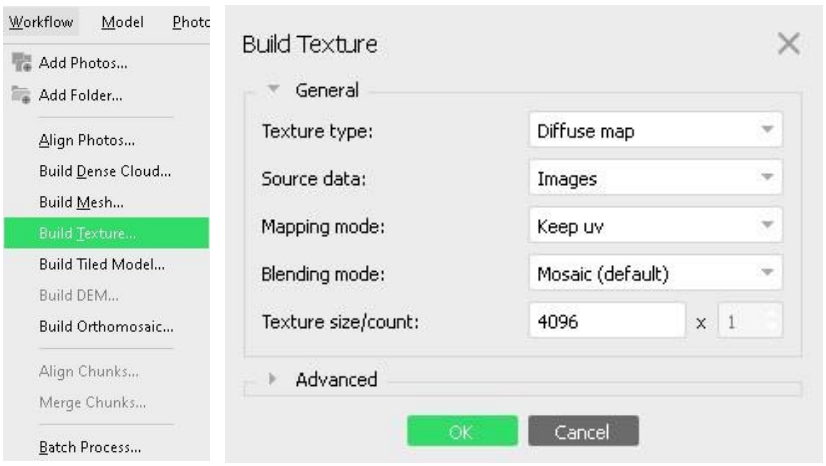

Figura 33: Etapas para construir a textura. Fonte: Autor, 2023.

E após isso, o modelo está finalizado e de pronta exportação no formato OBJ para outras plataformas, por exemplo o software de modelagem utilizado nesse projeto, o Blender.

2.3.O Blender

O Blender é um software de modelagem e animação tridimensional (3D) de código aberto, o que significa que o direito autoral permite ao público utilizar, criar, estudar e distribuir as informações criadas gratuitamente para qualquer finalidade. Além disso, ele é multiplataforma, disponível para Windows, Linux e MAC. O Blender oferece uma ampla gama de recursos, permitindo que os usuários criem jogos, animações e editem livremente, incluindo modelagem 3D, renderização, animação, edição de vídeos, texturização, criação de jogos e simulações (JÚNIOR, 2016).

Sua interface (Figura 34) proporciona liberdade para criar, editar e modificar qualquer objeto selecionado no momento, com funções distintas voltadas para a ambientação tridimensional, oferecendo todos os níveis necessários para uma modelagem completa. No entanto, é importante destacar que o Blender é uma plataforma complexa que exige dedicação e esforço do usuário, pois possui uma infinidade de possibilidades de trabalho.

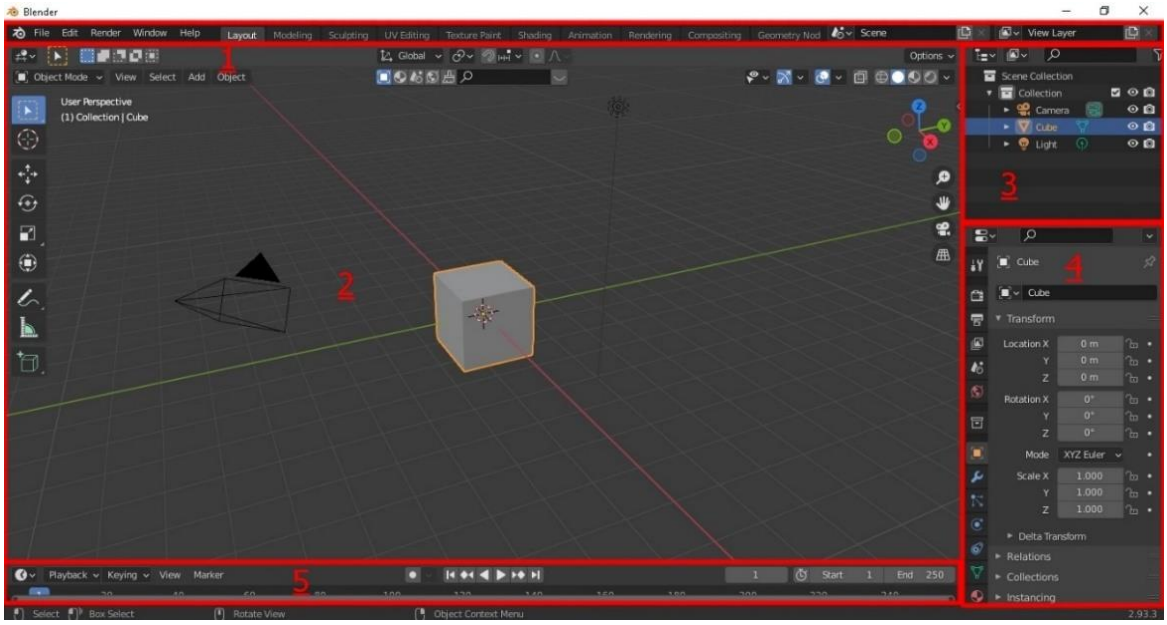

Figura 34: Interface Blender, sendo (1) a janela de informações ao topo; (2) a janela de visualização e manipulação 3D; (3) área que lista e organiza os objetos em cena; (4) janelas de edição das propriedades dos objetos selecionados; (5) A janela de tempo, para criar animações. Fonte: Autor, 2022.

Antes de iniciar qualquer trabalho em programas de modelagem 3D é importante compreender os conceitos básicos e matemáticos relacionado a coordenadas, espaço, vetores, câmeras e polígonos.

A coordenada espacial se baseia no método Cartesiano, seguindo eixos estabelecidos no formato X, Y, Z (Figura 35), com as cores padronizadas como os programas de modelagem mais populares no mercado (OLIVEIRA e SILVA, 2013).

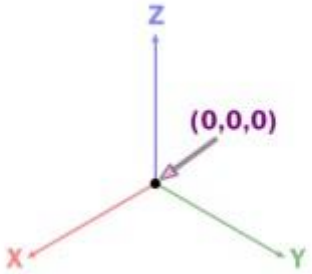

Figura 35: Coordenadas espacial do Blender, por Oliveira e Silva, 2013.

O espaço de trabalho no Blender é livre para a criação de modelos em diversos tamanhos e possui um ponto de origem que auxilia na localização dos objetos criados na cena, utilizando um sistema de coordenadas relativas a um objeto específico.

Seguindo o método cartesiano e expressando as coordenadas de forma absoluta, o Blender permite uma criação livre e uma observação através do 'espaço da câmera', que representa a área de visualização do objeto. É possível identificar os vetores 3D enumerados em coordenadas cartesianas, o que permite calcular ângulos, distâncias, direções e tamanhos dos objetos.

As câmeras, como mencionado anteriormente, funcionam como janelas de exibição da cena e podem ser colocadas em qualquer local da área de trabalho em formato piramidal. Elas podem ser animadas e possuem um campo de visão ajustável, o que permite ao usuário capturar a cena da forma desejada durante a renderização e registro do modelo e/ou animação.

Todos os objetos criados na cena são compostos por arestas, vértices e faces, formando polígonos prontos para serem manipulados livremente para atingir a forma desejada.

A modelagem no Blender não é precisa em detalhes fidedignos quando se trata do registro arqueológico, porém pode ser um recurso útil para elaborar reconstituições arquitetônicas, bioarqueológicas, objetos fragmentados e (re)criar objetos a partir de imagens de referência (Figura 36), entre outras inúmeras possibilidades de simular o contexto arqueológico que o programa oferece (NOVELLI, 2015).

Figura 36(a): A esquerda, principais formas de vasilhas de cerâmica arqueológica Guarani, fonte: Brochado e Monticelli, 1994, 36 (b) a direita simulação de vasilhas de cerâmica Guarani utilizando imagem de referência. Fonte: Autor, 2021.

Foi utilizado o Blender para editar modelos fotogramétricos importados do Agisoft Metashape. A partir das imagens de referência com escalas, foram construídas escalas tridimensionais de 10 e 20 cm para análises dos indivíduos.

Essa prática apresenta inúmeras potencialidades que colaboram com a arqueologia, permitindo a criação de acervos digitais para fins educacionais e lúdicos, como jogos, museus virtuais e simulações animadas.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os seguintes modelos foram resultados da prática anteriormente descrita (fotogrametria). Foi utilizado o Blender para edição, e a partir das fotos tiradas no laboratório com escalas, foram elaborados modelos com escalas tridimensionais no formato retangular (10cm x 2,5cm) utilizando o Blender.

Os exemplares do crânio e tíbia, provenientes do sítio arqueológico Largo da Matriz, exemplificam a potencialidade da fotogrametria em capturar detalhes de ossos pneumáticos, suturais e diversos ossos complexos (crânio) e longos (tíbia), proporcionando análises aprofundadas e possíveis reconstituições futuras (MORAES *et al*., 2018).

No caso específico do crânio número 11 do conjunto 5, mesmo com o maxilar fragmentado, foi possível construir um modelo fotogramétrico separado do maxilar e posteriormente uní-lo ao modelo do crânio completo, como demonstrado na figura 37. Essa abordagem permitiu a reunião precisa dos elementos e a criação de um registro digital tridimensional abrangente e detalhado.

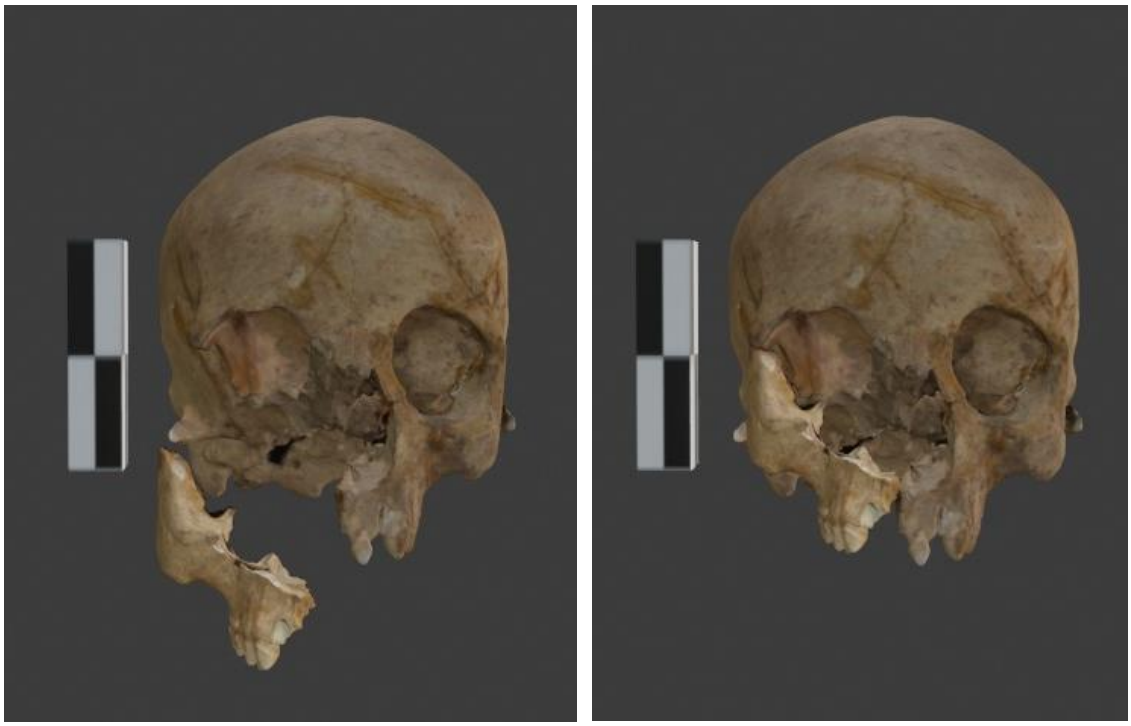

Figura 37 (a): Crânio do indivíduo número 11, conjunto 5, oriundo do sítio Arqueológico Largo da Matriz com maxilar fragmentado. 37 (b): Modelo digital tridimensional unido ao seu maxilar fragmentado. Fonte: Autor, 2023.

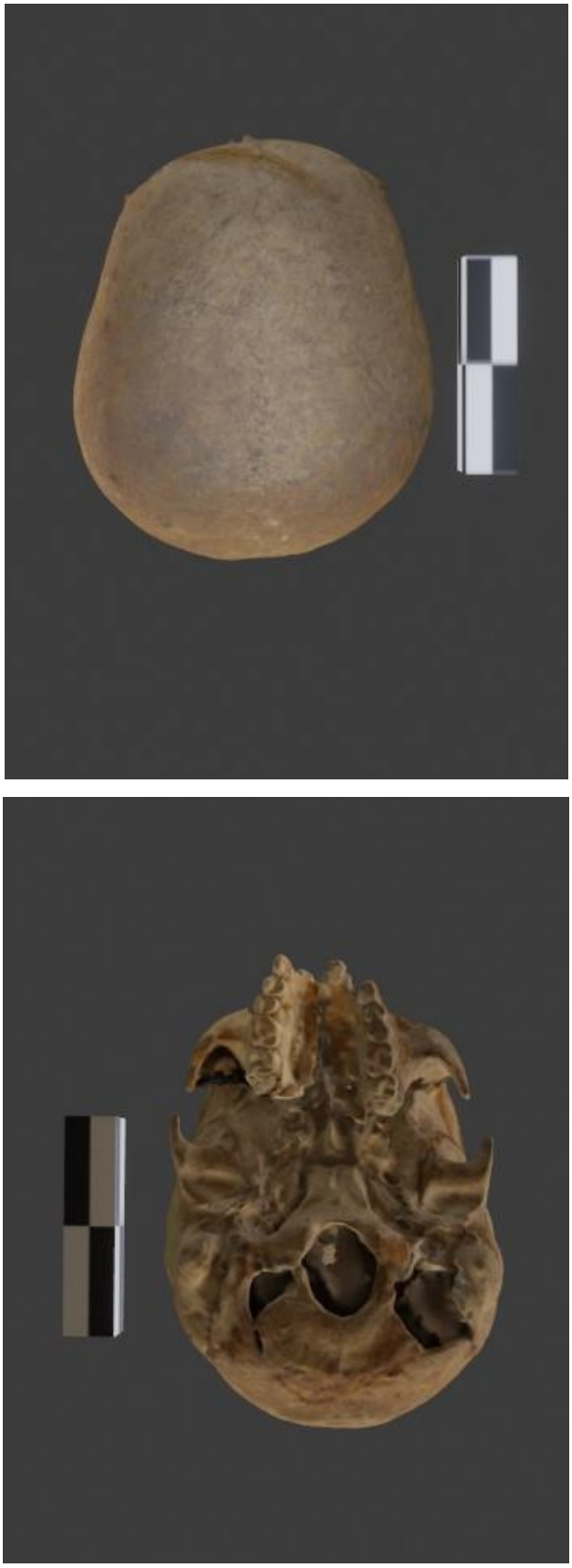

Figura 38 (a): Vista superior; 38 (b): vista inferior do indivíduo 11, conjunto 5, oriundo do sítio Arqueológico Largo da Matriz. Fonte: Autor, 2023.

A prática da fotogrametria em ossos longos (Figura 39) demandou menos fotos, consequentemente, menos tempo, pelo fato de não possuírem muitos detalhes. Com isso o Agisoft processou mais rápido, por conta do baixo número de dados em comparação ao modelo anterior.

Figura 39 (a) e 39 (b): Tíbia do lado direito, indivíduo proveniente do sítio Arqueológico Largo da Matriz. Fonte: Autor, 2023.

Os modelos a seguir, são de uma mandíbula esquerda cortada (Figura 40), e um fêmur com marcas de corte e polimento (Figura 41), pertencentes a um porco do mato (*Pecari tajacu*). Encontrados como acompanhamentos funerários na urna 2, oriunda do sítio Água Vermelha, Reserva Indígena Caramuru Paraguaçu. É notado o potencial também em registros zooarqueológicos (EVIN *et al.,* 2016).

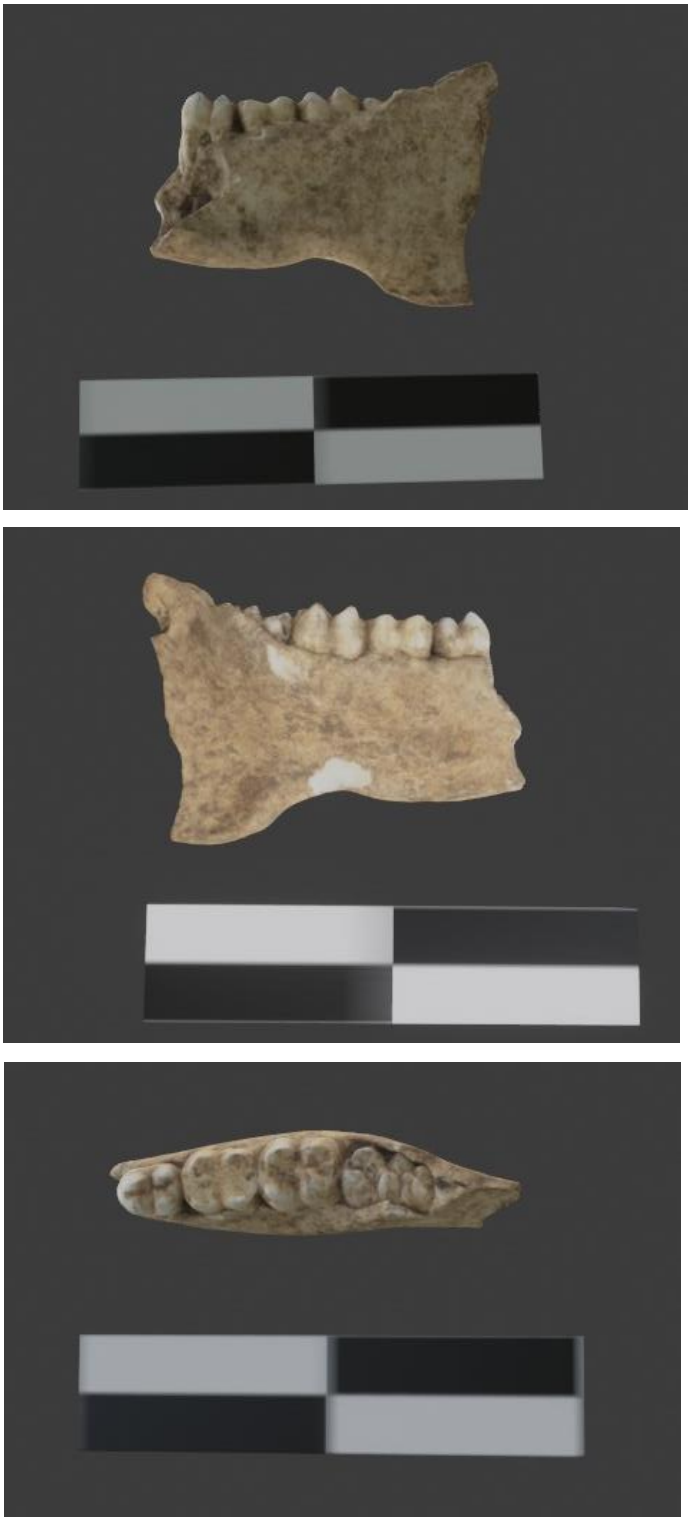

Figura 40 a, b e c: Mandíbula esquerda de *Pecari tajacu* cortada, proveniente da urna 2 do sítio Água Vermelha, Reserva Indígena Caramuru Paraguaçu. Fonte: Autor, 2023.

Figura 41 Fêmur direito de *Pecari tajacu* (a): vista frontal, com marcas de cortes e polimento: 41 (b): vista lateral, pertencente a urna 2 do sítio Água Vermelha, Reserva Indígena Caramuru Paraguaçu. Fonte: Autor, 2023.

Os modelos obtidos através da fotogrametria não se restringem apenas aos agentes bioarqueológicos, mas também podem ser aplicados a outros materiais arqueológicos, como artefatos líticos, cerâmicas e demais itens encontrados em escavações. Essa versatilidade da técnica amplia suas possibilidades de uso e contribui para a preservação de dados arqueológicos de forma digital.

A capacidade de armazenar e compartilhar os modelos em nuvem é uma das principais vantagens da fotogrametria. Ao disponibilizar os dados em plataformas online como o Sketchfab, é possível que outros pesquisadores acessem, salvem e analisem os modelos em diferentes ambientes e softwares. Essa colaboração facilita a troca de informações e abre espaço para novas perspectivas de estudo e pesquisa.

Além disso, a divulgação dos modelos em redes sociais e através de animações criadas com o Blender pode tornar os achados arqueológicos mais acessíveis ao público em geral. Essa disseminação do conhecimento é essencial para valorizar e preservar o patrimônio cultural, permitindo que pessoas com diferentes formações e olhares possam interpretar e aprender a partir desse material didático.

A fotogrametria também viabiliza a análise de alvos mais complexos e a obtenção de volumes de dados maiores e mais diversificados. Ao processar amostras ampliadas, é

possível estabelecer hipóteses sobre o modo de vida social através da cultura material, contribuindo para uma compreensão mais abrangente das sociedades do passado.

Com base nesses resultados promissores, torna-se possível estender ainda mais a aplicação da fotogrametria em pesquisas arqueológicas. A criação de um acervo digital tridimensional com diversos objetos, estruturas e contextos pode revolucionar o campo da arqueologia, possibilitando análises mais detalhadas, reconstituições virtuais e contribuindo significativamente para a construção do conhecimento histórico.

Além disso, a evolução contínua da tecnologia e a maior disponibilidade de câmeras de alta qualidade, incluindo as dos smartphones, tendem a facilitar o acesso e a aplicação da fotogrametria em projetos arqueológicos futuros. Essa democratização do método abre portas para que mais pesquisadores e instituições adotem a fotogrametria como uma ferramenta valiosa em suas investigações.

A formação de registros arqueológicos digitais permite o compartilhamento de informações em escala global, possibilitando o diálogo entre diversos pesquisadores, instruindo estudantes e despertando o interesse de curiosos por conhecimentos arqueológicos. O visual tridimensional atrativo cria uma ponte entre a academia e aqueles que navegam pela internet, proporcionando novas perspectivas de análise e compreensão do patrimônio arqueológico (THOMAZI *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, a Arqueologia Digital tem se destacado cada vez mais à medida que os meios tecnológicos avançam, e as metodologias digitais propostas se tornam agentes colaboradores para o registro, documentação e preservação, aliando-se às técnicas convencionais. Trata-se de apenas uma das diversas técnicas interdisciplinares que a Arqueologia utiliza para a construção do conhecimento científico.

Ao relatar as etapas da metodologia nesta monografia, criou-se um recurso valioso para auxiliar futuros leitores e interessados na prática fotogramétrica, capacitando-os para sua aplicação em diferentes áreas da Arqueologia. Compreender o método empregado e aplicá-lo em pesquisas arqueológicas pode fomentar a disseminação de registros 3D científicos, permitindo que outros acadêmicos analisem os modelos disponíveis sem a necessidade de locomoção ao laboratório.

Os modelos gerados como exemplo demonstraram o potencial da fotogrametria nos registros bioarqueológicos para complementar as fotografias e descrições das análises osteológicas. Essa abordagem possibilita reflexões a partir de novas perspectivas em futuras análises, permitindo pontos de vista diversificados por parte de outros estudantes. Ao criar um banco de dados tridimensionais e compartilhá-lo através dos meios digitais de comunicação, ampliam-se as possibilidades de análise colaborativa.

A Arqueologia sempre soube dialogar com as tecnologias de seu tempo, e métodos como a fotogrametria devem ser disponibilizados no meio acadêmico para capacitar futuros arqueólogos a enriquecer o registro arqueológico. É essencial pensar em estratégias para difundir esse conhecimento e formar agentes qualificados no uso dessa técnica.

A fotogrametria é uma valiosa adição ao mundo acadêmico, tornando-se indispensável em diversos aspectos. Ao interligar profissionais e conhecimentos no meio digital, o registro arqueológico é beneficiado por investigações e pela socialização dos conhecimentos.

Em suma, os resultados obtidos com a aplicação da fotogrametria na arqueologia demonstram seu potencial transformador na preservação, análise e divulgação do patrimônio cultural. A possibilidade de criar modelos tridimensionais precisos, compartilhá-los amplamente e analisá-los de diferentes perspectivas trazem benefícios significativos para a ciência e arqueologia, enriquecendo nosso entendimento do passado e abrindo novas possibilidades para o futuro das pesquisas nessa área fascinante.

Por fim, a fotogrametria de curto alcance não é apenas um método de registro preciso e rápido, mas também uma ferramenta analítica que auxilia os arqueólogos a encontrar respostas para perguntas que surgem durante a pesquisa em campo, no laboratório e na interpretação. Isso possibilita que o observador viaje pelo espaço e pelo tempo através dos modelos tridimensionais, ampliando as possibilidades de exploração e compreensão do patrimônio arqueológico em sua totalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVIDO, D.; VITORES, M. **Observaciones Sobre el Proceso de Documentación 3D Mediante Fotogrametría**. XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Capítulo 36 Modelando el Pasado en Arqueología. Investigacíon y Extensíon Mediante Modelos Tridimensionales, Argentina. Córdoba, 2019. 1592-1596.

BASTIAN, A. V. **CITYGML e Fotogrametria Digital na Documentação Arquitetônica: Potencialidades e Limitações**. VII Encontro de Tecnologia de informação e Comunicação na Construção, 2015.

BEALE, N.; BEALE, G. **The Potential of Open Models for Public Archaeology**. Futuros Digitais 2012: A Terceira Conferência Anual de Economia Digital All Hands. Aberdeen, Reino Unido: [s.n.]. 2012.

BROCHADO, J. P.; MONTICELLI, G. **Regras Práticas na Reconstrução Gráfica das Vasilhas de Cerâmica Guarani a Partir dos Fragmentos**. Estudos Ibero-Americanos XX, 1994. 106-118.

CARVALHO, A.; ETCHEVARNE, C. A.; QUEIROZ, A. N. **Associação de Vasos Cerâmicos e Ossos de Animais: Ritual Funerário ou resto de cozinha em Populações do Passado Provenientes da Região Nordeste do Brasil?** In: Revista Etnobiología. Vol 17. [S.l.]: [s.n.], 2019. p. pp: 76-88.

CARVALHO, L. M. D. S.; CARVALHO, O. A. D. **Dados Bioculturais Inferem Dados Ritualísticos de Afro-brasileiros no Nordeste do Brasil**. Clio Arqueológica, 2022. 1-44.

CLINI, P. *et al*. **Interactive Immersive Virtual Museum: Digital Documentation for Virtual Interaction**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, Riva del Garda, Itália, 2018. 251-257.

CLINI, P. *et al*. **The Integrated Survey of Narrow Spaces and Underground Architecture: The Case Study of Campana Caves Bas-Reliefs**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W9, Bergamo, Itália, 2019. 277-282.

EVANS, T. L.; DALY, P. **Digital Archaeology: Bridging Method and Theory. Routledge**. London and New York. 2006.

EVIN, A. *et al*. **The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication**. Journal of Archaeological Science: Reports, 2016. 87-93.

GOMIDE, M. V. **Fotogrametria na prática: digitalizando cerâmicas arqueológicas em 3D**. [des]construindo Arqueologias Digitais, 2022. 39-55.

GUIDI, G.; RUSSO, M. **Digital reconstruction of an archaeological site based on the integration of 3D**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 2013. Trento: [s.n.]. 2013.

LACHAMBRE, S.; LAGARDE, S.; JOVER, C. **Unity Photogrammetry Workflow**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

LIMA, T. C. F.; LANDA, B. D. S. **A fotogrametria nos estudos de arte rupestre do sítio Templo dos Pilares (MS) em diálogo com o patrimônio arqueológico**. [des]construindo Arqueologias Digitais, 2022. 74-89.

MAGALHÃES, A. J. F. D.; BERREDO, A. L.; GASPAR, M. **De Volta ao Passado: A Aplicação da Fotogrametria Para o Registro Arqueológico 3D**. Revista de Arqueologia Vol 31, 2018. 185-207.

MARTIRE, A. D. S. *et al*. **Ciberarqueologia Aplicada a Sítios Concheiros: O Projeto Sambaqui Interativo**. Rev. Memorare, Tubarão, v.5, n.1, São Paulo, SP, 2018. 283-214.

MORAES, C.; MIAMOTO , P. **Manual de Reconstruç o Facial 3D Digital**. 1. ed. [S.l.]: Sinop-MT: EXPRESSÃO GRÁFICA, 2015.

MORAES, C.; ROSA, E. D.; DORNELLES, R. **OrtogOnLineMag**. 1. ed. [S.l.]: SINOP-MT, 2022.

MOURA, C. H. D.; GUEDES, M.; WESOLOWSKI, V. **Divulgando Zoólitos em 3D: notas iniciais**. [des]construindo Arqueologias Digitais, 2022. 32-38.

NOVELLI, R. **Modelagem e Interação em Ambiente 3D Utilizando Blender e Unity**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Trabalho de Diplomação, MEDIANEIRA, 2015.

OLIVEIRA, T. H. B. D.; SILVA, G. D. F. P. E. **Introdução a Modelagem 3D com Blender 3D**. III Escola regional de informática de Pernambuco, Garanhuns, PE, 2013. 202-209.

PINTO, K. L. D. M. *et al*. **Pesquisa Arqueológica no Largo da Matriz, Município de Marechal Deodoro, Estado de Alagoas**. IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. [S.l.]. 2018.

PIRES, H. *et al*. **Contribuição da Geomática para os processos de registo e documentação em Arqueologia. Aplicações dos Sistemas de Varrimento Laser e da Fotogrametria**. Academia. Accelerating the world's research. Superfície – Geomática, Congresso de aplicações informáticas à Arqueologia e Património. Leiria, Portugal, 2007.

QUATTRINI, R. *et al*. **Digital interaction with 3D archaeological artefacts: Evaluating user's**. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 24 Abril 2020.

RATES, P. H. H.; ASSUNÇÃO, R. A. B.; ARRUDA, E. P. **Museu Virtual: Experiencias de Criação de Uma Modelagem 3D e Possibilidades para a Educação.** FAPEMIG/CPNq/UFMG, Inovação em Educação e Tecnologias Digitais., Dezembro 2014.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

THOMAZI, B. Z. *et al*. **Cultura Material e Arqueologia Digital: novas estratégias para o ensino de História Antiga**. GAIA vol 12, 2021. 151-156.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**, 2009.

TOMMASELLI, A. M. G. *et al*. **Fotogrametria: aplicações a curta distância. Perfil Científico - Educacional**, Presidente Prudente, SP, Janeiro 1999. 146-159.

TORRES, J. C. *et al*. **Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio**. Virtual Archaeology Review , Granada, Abril 2010. 51-54.

TORRES, R.**Arqueologia Histórica na Era Digital**. VESTÍGIOS – Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica, 2017. 5-19.

TORRES, R. *et al*. **Mapeando em Profundidade: A integração de Técnicas Digitais Para a Pesquisa Arqueológica de sítios de Naufrágios Históricos**. VESTÍGIOS, Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica, 4 Maio 2017. 105-134.

WICHERS, C. A. D. M.; ZANETTINI, P.; TEGA, G. **Entre Seres e Coisas: A Aplicação de Tecnologias 3D como Ponte Entre Patrimônio Arqueológico e Sociedade**. VESTÍGIOS – Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica, 2017. 79-106.