



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS MACEIÓ  
CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**BRUNO FLORENÇO VASCONCELOS  
MARIANA BARBOSA BRASIL**

**O USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL PARA A VIRTUALIZAÇÃO 3D DE  
COLEÇÕES BIOLÓGICAS: UMA REVISÃO NARRATIVA**

**MACEIÓ-AL  
2024**

BRUNO FLORENÇO VASCONCELOS  
MARIANA BARBOSA BRASIL

O USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL PARA A VIRTUALIZAÇÃO 3D DE  
COLEÇÕES BIOLÓGICAS: UMA REVISÃO NARRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Campus Maceió, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof. Me. Merylane Porto da Silva

MACEIÓ-AL  
2024



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
***Campus Maceió***  
**Biblioteca Benevides Monte**

---

570.284

Vxxxu Vasconcelos, Bruno Florenço.

O uso da fotometria digital para a 3D de coleções biológicas [recurso eletrônico] : uma revisão narrativa / Bruno Florenço Vasconcelos, Mariana Barbosa Brasil. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 112 KB). – 2024.

Documento com 51 folhas.

Inclui referências.

Orientação: Profa. Ma. Merylane Porto da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Maceió*, Maceió, 2024.

1. Ciências biológicas. 2. Fotogrametria – Modelos 3D. 3. Coleções biológicas. I. Brasil, Mariana Barbosa. II. Título.

---

**Franciane Monick Gomes de França**  
**Bibliotecária – CRB-4/1831**

BRUNO FLORENÇO VASCONCELOS  
MARIANA BARBOSA BRASIL

O USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL PARA A VIRTUALIZAÇÃO 3D DE  
COLEÇÕES BIOLÓGICAS: UMA REVISÃO NARRATIVA

Monografia aprovada em 01/08/2024, como requisito para a obtenção do título de  
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Alagoas- IFAL.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Merylane Porto da Silva

***Orientadora***

---

Prof. Dr. Ebenézer Bernardes Correia Silva

---

Profa. Dra. Regina Maria de Oliveira Brasileiro

## RESUMO

Do ponto de vista educacional, a fotogrametria proporciona recursos visuais interativos que podem enriquecer o ensino de ciências biológicas. Os modelos 3D detalhados permitem aos estudantes explorar estruturas biológicas de maneira aprofundada e intuitiva, promovendo um entendimento mais claro e engajador. O presente trabalho tem como objetivo analisar teoricamente, com base em uma bibliografia selecionada, a viabilidade da fotogrametria na produção de modelos 3D em coleções biológicas, especificamente em contextos botânicos e zoológicos. Além disso, busca explorar as características de acessibilidade dessa técnica, incluindo os equipamentos necessários, os softwares disponíveis e as possibilidades de compartilhamento digital dos modelos. O estudo também visa identificar e discutir os desafios associados ao uso da fotogrametria, tais como a qualidade dos dados obtidos, o tempo requerido para a produção dos modelos e os custos envolvidos. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, caracterizada por uma revisão narrativa da literatura existente sobre o tema. Os critérios de exclusão definidos para a seleção dos estudos incluem a aplicação da fotogrametria a curta distância na produção de modelos 3D, a digitalização de espécimes biológicos e a descrição detalhada dos procedimentos utilizados. Essa abordagem permite uma análise aprofundada e abrangente das diversas facetas da utilização da fotogrametria em coleções biológicas. O trabalho sugere, ainda, que a implementação de projetos de fotogrametria de baixo custo pode ser uma estratégia eficiente para estimular a produção e o compartilhamento de coleções digitais, ampliando o acesso a essas informações valiosas e promovendo a democratização do conhecimento científico. Conclui-se que a fotogrametria digital representa uma abordagem inovadora e promissora para a virtualização 3D de coleções biológicas, com um vasto potencial de aplicações. A revisão narrativa realizada evidenciou a eficácia e a versatilidade dessa técnica na criação de modelos tridimensionais precisos e detalhados de espécimes biológicos. Tais modelos abrem novas possibilidades para a pesquisa, a educação e a conservação, permitindo o acesso remoto e a análise não invasiva dos espécimes. Dessa forma, a fotogrametria digital se apresenta como uma solução possível de superar muitas das limitações das abordagens tradicionais utilizadas no estudo de coleções biológicas. Finalmente, o trabalho sugere como a versatilidade da fotogrametria pode ser aplicada em projetos de baixo custo, com o intuito de estimular a produção de coleções digitais e facilitar o acesso a esses dados tanto por pesquisadores quanto pelo público em geral.

Palavras-chave: Fotogrametria. Modelos 3D. Coleções biológicas.

## ABSTRACT

The present study aims to theoretically analyze, based on selected bibliography, the feasibility of photogrammetry in generating 3D models of biological collections, specifically in botanical and zoological contexts. Additionally, it explores the accessibility features of this technique, including required equipment, available software, and possibilities for digital model sharing. The study also aims to identify and discuss challenges associated with photogrammetry, such as data quality, time required for model production, and associated costs. Finally, the paper suggests how the versatility of photogrammetry can be applied in low-cost projects to stimulate the creation of digital collections and enhance access to these data for both researchers and the general public. The research adopts a qualitative approach characterized by a narrative review of existing literature on the topic. Exclusion criteria for study selection include close-range photogrammetry application in 3D model production, biological specimen digitization, and detailed procedure descriptions. This approach allows for a comprehensive analysis of various facets of using photogrammetry in biological collections. Educationally, photogrammetry provides interactive visual resources that can enrich the teaching of biological sciences. Detailed 3D models enable students to explore biological structures in a deep and intuitive manner, promoting clearer and more engaging understanding. Moreover, by facilitating access to rare or delicate specimens that cannot be frequently handled, the technique broadens educational reach, becoming a valuable resource for distance learning and inclusive education. The study further suggests that implementing low-cost photogrammetry projects can efficiently stimulate the production and sharing of digital collections, thereby expanding access to valuable information and promoting the democratization of scientific knowledge. In conclusion, digital photogrammetry represents an innovative and promising approach to 3D virtualization of biological collections, with vast potential applications. The narrative review conducted highlighted the effectiveness and versatility of this technique in creating accurate and detailed 3D models of biological specimens. Such models open new possibilities for research, education, and conservation by enabling remote access and non-invasive analysis of specimens. Thus, digital photogrammetry emerges as a solution capable of overcoming many limitations of traditional approaches used in the study of biological collections.

Keywords: Photogrammetry. 3D Models. Biological Collections.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>7</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>10</b>
3.1 DIRETRIZES PARA PRODUÇÃO DE MODELOS BIOLÓGICOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS BASEADOS EM FOTOGRAMETRIA DIGITAL DE CURTA DISTÂNCIA.....	20
3.2 FOTOGRAMETRIA APLICADA AO ESTUDO ZOOLOGICO DA MORFOLOGIA EXTERNA.....	34
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A discussão acerca da digitalização de informações biológicas iniciou-se no fórum de Megaciências da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), ocorrido na década de 90. Apesar das limitações tecnológicas da época, com a informática ainda sendo uma área emergente, a iniciativa mostra-se revolucionária ao propor a utilização dos recursos à disposição para lidar com dados biológicos, além de incentivar a criação de um mecanismo internacional de compartilhamento destas informações (OCDE, 1999).

Com o avanço tecnológico e das novas possibilidades de mídias, surgem novas técnicas de digitalização de informações biológicas, inicialmente bidimensionais (2D), que derivam de técnicas utilizadas em bibliotecas e coleções de patrimônio cultural para digitalização de itens como livros; folhetos; pinturas e mapas, assim limitado-se à materiais que possuam características semelhantes, como folhas de herbários e lâminas para microscopia, por exemplo (HIDALGA *et al.*, 2019).

Mais adiante, conforme aponta Otero *et al* (2020), com o desenvolvimento de novas tecnologias digitais, a utilização de imagens tridimensionais (3D) logo torna-se uma tendência na paleontologia de vertebrados, em meados dos anos 2000. Entre as novas possibilidades proporcionadas por essa nova tecnologia estavam: aplicação no estudo de biomecânica da locomoção e modos de alimentação. Os autores apontam que a utilização destas técnicas permitia desenvolver estudos através de simulações, dispensando a manipulação de ossos grandes e frágeis.

Atualmente, as tecnologias 3D são utilizadas em diversas áreas das ciências biológicas e naturais, como a paleontologia, zoologia de vertebrados, de invertebrados e botânica (HIDALGA *et al*, 2019). Diversas técnicas podem ser empregadas para produção de modelo 3D, variando entre si na quantidade de informação preservada em seu produto final e no investimento necessário para aquisição de equipamentos e infraestrutura para sua utilização (LOBO, GRILLO e AZEVEDO, 2021).

Dentre as técnicas de digitalização 3D, destaca-se a fotogrametria. Segundo Jesús-Luis *et al* (2019, p. 101), essa técnica é compreendida como o campo da ciência e da tecnologia responsável pela “aquisição, acúmulo e transformação de informações sobre a forma, movimento e deformação de um objeto por meio de um feixe de luz” (tradução nossa). Em linhas gerais, a fotogrametria é compreendida como a medição das características reais de um objeto por meio de fotografias que são posteriormente utilizadas na reconstrução digital do objeto em questão.

Autores como Silva (2015), afirmam que o termo “fotogrametria” surgiu em 1855, através do geógrafo alemão Otto Kersten. Porém, algumas fontes divergem sobre o ano da introdução do termo na literatura internacional, variando entre 1867 (GRIMM, 1980) e 1893 (GOSH, 1981, *apud* SILVA, 2015), aparecendo pela primeira vez em um artigo do engenheiro civil alemão Albrecht Meydenbauer publicado no jornal semanal da Associação de Arquitetos de Berlim.

Neste trabalho serão abordadas informações acerca da fotogrametria digital, um campo que, simplificada, se distingue das demais abordagens fotogramétricas pela suplantação das técnicas analógicas de processamento e armazenamento de dados e pela utilização de imagens digitais (TOMMASELLI, 2009). A fotogrametria digital moderna surge da integração da ciência da computação às técnicas utilizadas na fotogrametria digital clássica, como evidenciado por Heipke (2001, *apud* SILVA, 2015)

[...] isso então incluía processamento e imagens, reconhecimento de padrões e visão de computador para realizar operações semiautomáticas, automáticas (operador entra com *inputs*) e completamente automático (completo pelo computador) (HEIPKE, 2001, *apud* SILVA, 2015, p. 92).

Autores como Alencastro *et al* (2019), definem fotogrametria digital como um método de captura de dados geométricos de um determinado objeto por meio de imagens fotográficas digitais de diferentes ângulos (360°). Durante o processamento, um software alinha as imagens e identifica sobreposições e pontos correspondentes para determinar a posição e orientação da câmera em relação ao objeto. Essas informações são usadas para reconstruir a geometria tridimensional do objeto,

resultando em uma nuvem de pontos ou malha tridimensional que podem ser convertidos em um modelo 3D digital.

Atualmente, a fotogrametria é amplamente utilizada em diversos campos do conhecimento, em especial para preservação e difusão de patrimônio cultural por meio da digitalização de acervos físicos (ALENCASTRO *et al*, 2019; MARTÍN e MANRIQUE, 2020; MOURA *et al*, 2021; LEIJA-ROMÁN, 2022) e tem sido adotada em diversos projetos de baixo custo devido à sua acessibilidade (PALESTINI e BASSO, 2019; MORO e PAVÒN, 2021; STARK, HAFFNER e KUCERA, 2022).

A aplicação dessa técnica em projetos de baixo custo tem trazido consigo a possibilidade de ampliação do seu alcance, permitindo que instituições e pesquisadores com recursos limitados possam se beneficiar dos avanços tecnológicos da área. A utilização da fotogrametria em conjunto com coleções biológicas também tem proporcionado a oportunidade de documentar e compartilhar o conhecimento sobre a diversidade biológica de forma mais precisa e imersiva, enriquecendo a educação, a pesquisa e a divulgação científica (FLYNN, 2019).

Acredita-se que a fotogrametria digital pode atuar como uma importante ferramenta na preservação e disseminação do conhecimento científico sobre a diversidade biológica por meio da digitalização 3D de coleções biológicas. Diante desse cenário, esta pesquisa buscou responder à indagação central: "Como a fotogrametria pode ser justificada como uma ferramenta acessível e eficaz para a digitalização 3D de coleções biológicas, contribuindo assim para a preservação e disseminação do conhecimento científico sobre a diversidade biológica em espaços formais e não formais de educação?"

Em síntese, o trabalho pretende contribuir para a produção de novas pesquisas e procedimentos de utilização dessa técnica, assim como para uma maior exploração de temas relacionados à aplicação de tecnologias 3D como meio tanto para preservação e divulgação de coleções biológicas, assim como para outros propósitos, incluindo para fins educacionais dentro e fora do ambiente acadêmico, especialmente no ensino biologia.

Com base nas premissas apresentadas, o trabalho em questão teve como objetivos analisar teoricamente, com base na bibliografia selecionada, a viabilidade da fotogrametria na produção de modelos 3D em coleções biológicas, como em contextos botânicos e zoológicos e, a partir disso, explorar as características de acessibilidade, incluindo equipamentos, software e compartilhamento digital; analisar os desafios como qualidade de dados, tempo e custos; além de, por fim, sugerir como a versatilidade da fotogrametria pode ser aplicada em projetos de baixo custo, como um meio para estimular a produção de coleções digitais, facilitando o acesso a esses dados por pesquisadores e o público em geral.

Nesse sentido, a escolha do tema justifica-se pela escassez de referencial na literatura nacional acerca da utilização da fotogrametria digital para a virtualização 3D de coleções biológicas, tendo em vista que, além de tratar-se de um tema extremamente importante para preservação de informações biológicas, a fotogrametria digital tem se mostrado uma ferramenta valiosa para divulgação científica e com grande potencial para o ensino. Nesse contexto, explorar estratégias para superar os desafios relacionados à falta de referências é crucial.

Em termos de preservação, a história recente do Brasil alerta para a urgência dessa necessidade, evidenciada pelos trágicos incêndios no Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2018 e no Museu de História Natural e Jardim Botânico da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2020 (BRASIL, 2021). Embora não seja uma solução para prevenir esses desastres, o que demanda maior responsabilidade do poder público na manutenção desses locais, iniciativas nesse sentido podem oferecer uma alternativa viável para preservar as informações contidas nos acervos institucionais, além de ampliar seu acesso.

Outras vantagens da utilização dos modelos 3D é a redução da manipulação dos objetos, que representa a principal causa de danos a peças de acervos (ROURKE, 2019, *apud* LOBO; GRILLO; AZEVEDO, 2021); permite que pesquisadores e outros interessados superarem limites geográficos através do acesso remoto aos modelos virtuais e torna possível sua utilização em testes mais

refinados através de simulações computadorizadas (LISCHER-KATZ *et al*, 2019; OTERO *et al*, 2020; LOBO; GRILLO; AZEVEDO, 2021)

Nesse contexto, vale ressaltar as oportunidades pedagógicas derivadas do uso de espécimes digitalizados como uma alternativa para a escassez de laboratórios ou equipamentos apropriados para a observação e manipulação de espécimes físicos em ambientes educacionais fora do ambiente acadêmico. Essa abordagem permite que os alunos explorem e examinem virtualmente características dos espécimes digitalizados, buscando uma experiência próxima à proporcionada por atividades práticas realizadas em condições ideais, sendo essa adaptação particularmente relevante para o ensino de ciências.

Essa característica mostra-se relevante ao considerarmos as tão almeçadas mudanças que se espera na educação atual: que seja flexível, híbrida, digital, ativa e diversificada e permita uma aprendizagem contínua, formal e informal, pessoal e grupal, desafiando a rigidez pedagógica (MORAN, 2017). Como observado, o compartilhamento de modelos virtuais, por si só, já demonstra um grande potencial educacional, principalmente se orientado por docentes.

Ainda neste contexto, faz-se importante ressaltar que a utilização de espécimes digitalizados oferece uma solução ética e sustentável para eliminar a necessidade de captura e morte de animais no contexto educacional, tendo em vista que a prática de utilizar animais reais em atividades de ensino envolve preocupações éticas, principalmente quando trata-se de espécies ameaçadas ou vulneráveis.

Assim, torna-se evidente a versatilidade da fotogrametria digital e a sua capacidade de aplicação em distintos campos das Ciências Biológicas, sendo possível explorá-la em distintas coleções biológicas, sejam botânicas (herbário, carpoteca e xiloteca) ou zoológicas (osteológicas, entomológicas, entre outras). Isso amplia as possibilidades científico-pedagógicas atreladas à fotogrametria digital, além de valorizar eventuais investimentos em equipamentos feitos pelas instituições de pesquisa e ensino.

Nesse contexto, características como a acessibilidade de equipamentos como câmeras digitais - mesmo que seja de um smartphone -, uma ampla gama opções de *softwares* comerciais e de uso livres para produção de modelos 3D (ALEIXO *et al*, 2020; ZAPATA e MEDINA, 2020) e a facilidade de compartilhamento destes modelos em plataformas digitais específicas como o *Sketchfab*, tornam quase infinitas as possibilidades de colaboração, assim como podem ser produzidos ou utilizados em qualquer nível de ensino.

Nesse sentido, apresentar e contribuir para o estabelecimento de diretrizes e padrões torna-se um passo essencial tanto para promover novas iniciativas adaptadas à realidade atual do Brasil em termos de virtualização de acervos biológicos, quanto para assegurar maior qualidade e confiabilidade dos dados produzidos, contribuindo significativamente para o crescimento e a eficiência da utilização da fotogrametria.

Para isso, utilizou-se a abordagem de revisão narrativa como meio para lidar com a escassez de referencial teórico. Foram utilizadas bases nacionais e internacionais, buscando termos de interesse e aplicado filtro temporal de cinco anos (2019 a 2023). Por fim, foi utilizada a análise narrativa para tratamento dos dados levantados.

Assim, o trabalho em questão apresenta os seguintes capítulos: Metodologia, onde descreve-se as estratégias de investigação, de buscas nas bases de dados selecionadas e de análise de dados utilizadas; Resultados e Discussões, onde os dados obtidos foram articulados para compor uma apresentação técnica da fotogrametria digital - principalmente em termos de materiais e procedimentos, assim como discorreu-se sobre as duas categorias temáticas que emergiram da análise do corpus amostral; e, por fim, Conclusão, onde são apresentadas as percepções dos autores acerca das vantagens e possibilidades para uma implementação mais ampla da fotogrametria digital no contexto da Biologia.

## 2. METODOLOGIA

Nesta pesquisa, adotamos uma abordagem qualitativa de revisão narrativa. Consideramos a revisão narrativa como mais adequada por constituir, conforme Flor *et al* (2022, p. 6-7), “um instrumento [...] muito útil devido à construção e sistematização das informações, sendo muito utilizada para a discussão e descrição de diferentes assuntos e em diferentes campos de conhecimento”, o que corrobora com a abordagem proposta de proporcionar uma visão geral e contribuir com a popularização do tema nos termos já apresentados.

Buscamos artigos, livros, teses e dissertações publicadas nos últimos cinco (2019 a 2023) anos nas bases de dados nacionais: Periódicos CAPES, SciELO e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e nas bases internacionais: *ScienceDirect*, *Wiley Online Library (WOL)* e *Research Ideas and Outcomes (RIO)*.

Para as buscas nos repositórios citados, foram utilizadas estratégias distintas com base nas ferramentas de pesquisa disponíveis em cada uma das bases. Nos Periódicos CAPES, SciELO, BDTD e *ScienceDirect* foi possível explorar os operadores booleanos *AND* e *OR*. No Periódico CAPES e *ScienceDirect* foi possível utilizar também operador asterisco (\*) e aspas (“”). Nas bases *WOL* e *RIO*, as buscas foram realizadas utilizando apenas filtros de presença dos termos de interesse em qualquer lugar dos trabalhos e filtros de assuntos, conforme descreveremos a seguir.

Para as buscas por termos, utilizamos a ferramenta de busca avançada para cruzar palavras-chaves em português e inglês nas bases nacionais e apenas em inglês para as internacionais. Utilizamos as palavras-chaves “fotogrametria”, “biodiversidade”, “coleções biológicas”, “fauna” e “flora”. Porém, ao decorrer da pesquisa, foram surgindo novos termos em inglês que poderiam ser úteis e que não possuíam equivalentes em português, como “*bio-photogrammetry*”.

Quanto a utilização de operadores booleanos, nas bases que ofereciam suporte à ferramenta, foram utilizados para compor expressões em ambos os

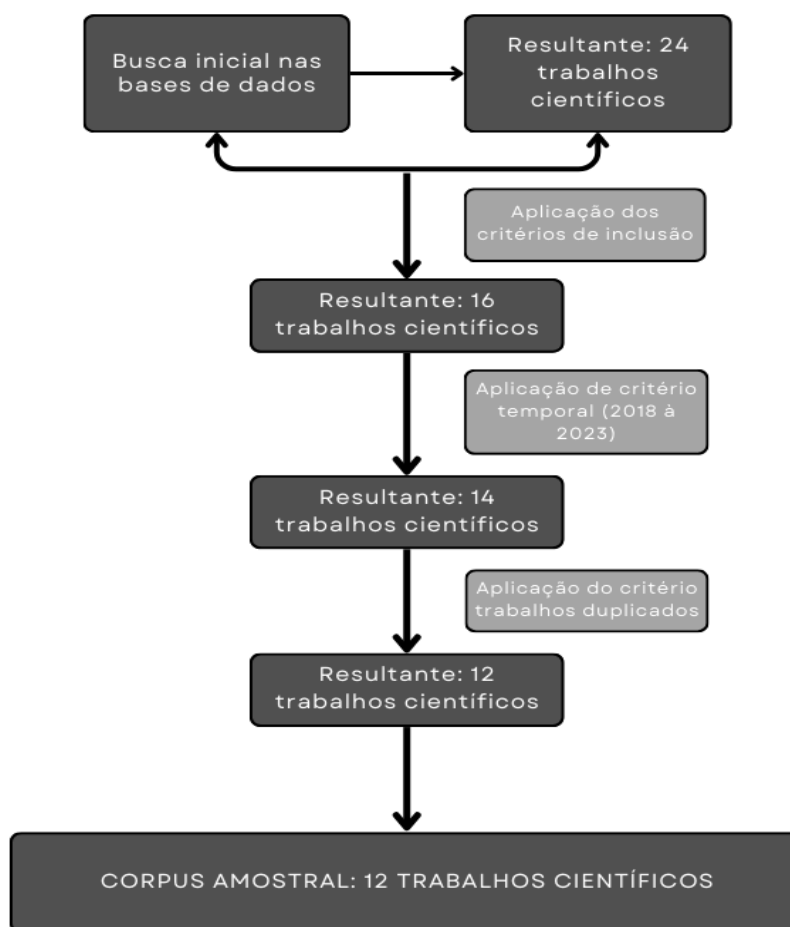
idiomas, como “fotogrametria de curta-distância”, “fotogrametria para biodiversidade”, “fotogrametria de baixo custo” e “modelagem 3D”, além do operador asterisco para recuperar variações dos termos, como plurais. Outra estratégia adotada no processo foi filtrar assuntos relacionados à biologia, em especial às áreas e subáreas da zoologia e botânica e história natural.

Obtivemos, inicialmente, 24 resultados. Aplicamos os seguintes critérios de exclusão:

- **Aplicação da fotogrametria a curta distância na produção de modelos 3D:** foram excluídos trabalhos que abordavam aplicações via satélite, uso exclusivos de drones para captura de imagens e abordagens similares;
- **Digitalização de espécimes:** Inicialmente, a digitalização de espécime(s) presente (s) em uma coleção biológica ou de história natural seria um dos critérios adotados. Porém, optamos por admitir trabalhos que abordassem a digitalização de espécimes vivos pela possibilidade de se obter um material útil para estudo de áreas como a morfologia sem sacrificar ou retirar esse espécime permanentemente do seu habitat natural, principalmente por tratar-se de uma técnica pouco invasiva;
- **Descrição dos procedimentos utilizados:** mantivemos apenas os trabalhos que apresentavam a descrição completa dos procedimentos empregados desde os equipamentos, coleta de imagens e softwares utilizados na produção dos modelos virtuais tridimensionais dos espécimes biológicos, visto que diferentes abordagens são utilizadas no processo e que o produto final também poderá apresentar variações em termos de qualidade dos dados representados.

Nove artigos não se enquadraram em um ou mais critérios. Além disso, também foram removidos os trabalhos duplicados (2) e aqueles que não se enquadram no filtro temporal (1). Como resultado final, 12 trabalhos atenderam aos requisitos, sendo todos artigos científicos.

Figura 1 - Fluxograma da seleção de trabalhos científicos para composição do *corpus* amostral.



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a análise dos dados, optamos por adotar a análise temática conforme propõe Minayo (2014), abordagem que tem como objetivo identificar e explorar os "núcleos de sentido" presentes na comunicação, evidenciando elementos cuja presença ou frequência aponte relevância para o objeto analítico em questão. Essa metodologia proporciona uma compreensão aprofundada dos dados, permitindo a interpretação e a extração de significados que contribuem para uma análise mais abrangente e contextualizada no âmbito da pesquisa.

Para este propósito, seguimos as três etapas propostas pela autora. Inicialmente, realizou-se a pré-análise, que envolveu a familiarização com os dados e a sua organização através da "leitura flutuante" dos trabalhos. Nesta etapa, os seguintes dados: título; objetivos e materiais e métodos foram organizados em um quadro (quadro 1) a fim de auxiliar na análise dos trabalhos. Além disso, essa estratégia também foi adotada para auxiliar em análises posteriores como a etapa

de exploração e para entender melhor as tendências e os padrões presentes nos trabalhos.

Em seguida, na etapa de exploração do material, os dados foram cuidadosamente classificados para identificar os núcleos de sentido essenciais. Por fim, na etapa de tratamento dos resultados obtidos e interpretação, os dados assimilados foram articulados para responder às questões de pesquisa (MINAYO, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quadro 1 apresenta a caracterização dos trabalhos quanto ao título, objetivos e materiais e métodos empregados na pesquisa. Essa abordagem é útil para se obter uma visão geral do conjunto de dados e identificar similaridades entre os trabalhos, a fim de agrupá-los em categorias temáticas.

Quadro 1 - Caracterização do corpus amostral

	Autor	Título	Objetivo	Materiais e métodos
A1	LAVAQUIO, Bernat <i>et al.</i>	<i>A photogrammetry-based methodology to obtain accurate digital ground-truth of leafless fruit trees</i> - Uma metodologia baseada em fotogrametria para obter informações digitais precisas de árvores frutíferas sem folhas (tradução nossa)	Criar uma metodologia para se obter uma réplica digital 3D de árvore real, usando imagens RGB e técnicas de estereofotogrametria Structure from motion ( <i>SfM</i> ) e <i>multiview stereo (MVS)</i> , validando com medições comparativas.	Utilizou-se uma macieira ( <i>Malus domestica</i> Borkh.) como modelo para criar uma representação 3D. Fotografias foram capturadas a 4m de altura em quatro níveis (0,77 m, 1,33 m, 1,89 m e 2,45 m) e processadas no Photoshop CS3 <i>extended</i> 10.0. O programa PhotoScan Professional 1.1.6 gerou uma nuvem de pontos 3D. A precisão da versão digital foi confirmada medindo diâmetros e comprimentos de tronco e galhos.
A2	DOAN, Thanh-Nghi; NGUYEN, Chuong V.	<i>A low-cost digital 3D insect scanner</i> - Um scanner de insetos digital 3D de baixo custo	Propor um novo scanner de insetos 3D que supera as restrições de pesquisas anteriores e pode ser usado para capturar um grande número de	Várias espécies de insetos foram selecionadas para avaliação, considerando características como tamanho, cor e forma. Para aquisição de imagens 2D foi utilizada uma câmera Canon EOS R, MP-E 65mm Macro Len, <i>mirrorless</i> .

		(tradução nossa)	espécimes de insetos em um laboratório de entomologia (tradução nossa).	As amostras foram presas a um mecanismo de plataforma giratória. As imagens obtidas foram mescladas em uma única imagem de profundidade de campo estendida e reconstruíram-se do modelo 3D através da mesma. O software <i>Metashape Professional 1.7.0</i> (Agisoft LLC, St. Petersburg, Rússia) é usado para a reconstrução 3D. O sistema utiliza equipamentos específicos, incluindo duas mesas giratórias para girar e inclinar a amostra; anel de luz para iluminação; o controlador <i>Cognisys StackShot 3X</i> (Cognisys, Michigan, EUA) para automatizar todo o processo de geração de imagens e um computador para receber e armazenar as imagens e, em seguida, construir modelos 3D.
A3	DELORENZO, Leah <i>et al.</i>	<i>Using 3D-digital photogrammetry to examine scaling of the body axis in burrowing skinks</i> - Usando fotogrametria digital 3D para examinar a escala do eixo do corpo em lagartos escavadores (tradução nossa)	Aplicar a fotogrametria 3D digital para reconstruir o eixo corporal de 12 espécies de <i>Brachymeles</i> e utilizar os modelos 3D para testar a hipótese de que o dimensionamento da área da seção transversal e a circunferência do eixo do corpo se desviarão da isometria e mostrar relações alométricas (tradução nossa).	12 espécies de lagartos <i>Brachymeles</i> foram selecionadas de museus. Para aquisição de imagens, foi utilizada uma câmera digital Canon Powershot G16, montada em um tripé e equipada com um gatilho sem fio. Fotos dorsais e ventrais foram tiradas. O <i>Adobe Photoshop</i> foi usado para pós-processamento de imagens (criar consistências entre as fotos), e o software <i>RealityCapture</i> foi usado para criar os modelos 3D iniciais. <i>Meshmixer</i> e, para alguns modelos, o <i>GeoMagic Studio</i> foram usados para posterior processamento, combinação dos modelos e para realização de medições.
A4	IRSCHICK, Duncan J. <i>et al.</i>	<i>Creation of accurate 3D models of harbor porpoises (Phocoena phocoena) using 3D photogrammetry</i> -	Descrever processos para recriação precisa de modelos 3D de botos mortos e vivos, fornecendo três modelos 3D, dois derivados de indivíduos mortos e um derivado de um indivíduo vivo, que serão fornecidos	Fotos e vídeos foram capturados de um boto vivo e dois mortos, utilizando conjuntos de dados específicos: para os mortos foram utilizadas imagens da câmera (Canon T6i) para criar uma malha inicial e, posteriormente, medidas morfométricas foram obtidas através das fotografias do drone e foram integradas aos

		<p>Criação de modelos 3D precisos de botos (<i>Phocoena phocoena</i>) usando fotogrametria 3D (tradução nossa)</p>	<p>como ferramentas de acesso aberto para a comunidade de mamíferos marinhos investigar tópicos como melhores práticas de marcação, condição corporal e hidrodinâmica de fluxo (tradução nossa).</p>	<p>modelos 3D. A construção do modelo baseado no boto vivo distingue-se apenas na substituição da câmera portátil, onde o conjunto de dados utilizado para a construção da malha inicial foi obtido utilizando uma GoPro, resultando em 17 fotos retiradas de um vídeo. O processo envolveu o uso de softwares de modelagem 3D como o <i>Blender</i> em conjunto com os softwares <i>RealityCapture</i> e <i>Meshroom</i> para obter modelos precisos dos botos.</p>
A5	<p>MORGAN, Brianne; FORD, Andrew L.J.; SMITH, Martin J.</p>	<p><i>Standard methods for creating digital skeletal models using structure-from-motion photogrammetry</i></p> <p>-</p> <p>Métodos padrão para a criação de modelos esqueléticos digitais usando fotogrametria <i>Structure-from-Motion (SfM)</i> (tradução nossa)</p>	<p>Avaliar as melhores práticas para a produção de modelos cranianos digitais 3D por meio da fotogrametria <i>Structure from Motion (SfM)</i>, e se a precisão métrica e a apresentação geral dos modelos fotogramétricos são comparáveis aos planos físicos. Destina-se a apresentar um método padrão amigável para a criação de modelos esqueléticos digitais precisos usando o <i>Agisoft PhotoScan</i> (tradução nossa).</p>	<p>Três crânios da Universidade de Bournemouth foram fotografados em nove posições diferentes usando uma Canon EOS 500D montada em um tripé ajustável. Uma plataforma giratória e um pano branco foram utilizados para garantir a uniformidade. O crânio foi girado a cada 15 graus durante as 360 fotos tiradas para cada uma das nove combinações de altura do tripé e orientação do crânio. Ao todo, 200 fotos foram capturadas. Utilizando o software PhotoScan Professional 1.2.4, foram gerados 45 modelos 3D, avaliados qualitativamente e comparados com medições físicas do esqueleto. O estudo buscou verificar a precisão das medições 3D em relação às físicas, empregando gráficos de Bland-Altman como método comparativo.</p>
A6	<p>ROSCIAN, Marjorie <i>et al.</i></p>	<p>Underwater photogrammetry for close-range 3D imaging of dry-sensitive objects: The case study of cephalopod beaks</p> <p>-</p> <p>Fotogrametria subaquática para imagens 3D de</p>	<p>Apresentar um protocolo de fotogrametria subaquática de curto alcance adaptado a objetos sensíveis a seco, validado por uma comparação quantitativa entre esses modelos fotogramétricos com os obtidos por meio de varredura por micro-CT (tradução</p>	<p>Foram selecionadas quatro espécies de cefalópodes que apresentam diferentes níveis de dificuldade em relação à fotogrametria. Para aquisição de imagens foi utilizada uma câmera Canon Powershot G7X Mark II com equipamentos adicionais para fotografar dentro d'água. Todo o aparato foi fixado em um braço articulado. A iluminação foi posicionada acima do objeto para limitar os efeitos de</p>

		<p>alcance próximo de objetos sensíveis a seco: o estudo de caso de bicos de cefalópodes (tradução nossa)</p>	<p>nossa)</p>	<p>sombra e homogeneizar a cena. O bico é fixado em um suporte colorido em uma mesa giratória debaixo d'água. Os bicos foram marcados e fotografados de diferentes ângulos. O software <i>Agisoft Metashape 1.4.0</i> foi usado para gerar nuvens e o software <i>MeshLab 2016.12</i> foi usado para triangular a densa nuvem de pontos e, posteriormente, para medir o modelo 3D final. O <i>Geomagic Studio</i> foi utilizado para suavizá-la e os furos da malha inicial. Os modelos de fotogrametria foram comparados com microtomografias, e uma análise estatística foi realizada para avaliar o erro metodológico. As diferenças entre os dois métodos foram representadas por meio de mapas de desvio</p>
A7	MEDINA, Joshua J. et al.	<p><i>A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry</i></p> <p>-</p> <p>Um <i>pipeline</i> rápido e econômico para digitalização de espécimes de museus com fotogrametria 3D (tradução nossa)</p>	<p>Descrever um método rápido e econômico para obter modelos 3D das características externas de espécimes de história natural e outros objetos de museus usando fotogrametria digital (tradução nossa).</p>	<p>Foi descrito o processo de produção de modelos 3D de aves de pequeno e médio porte. Para aquisição de imagens, foi utilizada uma câmera digital Sony a7rii. Foram adotadas configurações específicas de câmera e outras estratégias de captura de imagens com base no tamanho do objeto. Como <i>hardware</i> físico, foram utilizados um suporte projetado para espécimes de aves de médio e pequeno porte, uma plataforma giratória motorizada que se integra ao disparador da câmera, dois <i>softboxes</i> para iluminação e um pano fosco de fundo. Para processamento de imagem foram utilizados os softwares <i>Adobe Lightroom</i> (versão não especificada) para padronização e correção de distorções e cores. O <i>Adobe Photoshop</i> é utilizado para correções adicionais. O Software <i>Reality Capture</i> foi utilizado para reconstrução da malha 3D. Também são utilizados os softwares <i>Houdini</i> e <i>Reality Capture</i> para redução de polígonos e refinar texturas.</p>

A8	LEMÉNAGER, Marion <i>et al.</i>	<p><i>Studying flowers in 3D using photogrammetry</i></p> <p>-</p> <p>Estudando flores em 3D usando fotogrametria (tradução nossa)</p>	<p>Demonstrar o potencial da fotogrametria para reconstruir modelos 3D de flores para facilitar estudos de forma e cor floral (tradução nossa)</p>	<p>Foi descrito o protocolo de fotogrametria floral. Para aquisição de imagens foi utilizada uma câmera digital <i>single-lens reflex</i> (DSLR). Para facilitar a captura de fotos, foi utilizada uma plataforma giratória e um controle remoto automatizado para câmera. A amostra a ser fotografada era fixada ao centro da plataforma por grampos, pinos, tubo ou ponta de pipeta. Softwares como o <i>Adobe Lightroom</i> (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA) foram utilizados para padronização de cores das fotos. O software utilizado para reconstrução do modelo 3D foi o <i>Agisoft Metashape Professional Edition versão 1.7</i> (Agisoft LLC., St. Petersburg, Rússia), ao qual as fotografias são submetidas. Os modelos 3D gerados foram comparados com modelos gerados por microtomografia e foram depositados no <i>SketchFab</i>.</p>
A9	DZIOMBER, Laura; JOYCE, Walter G.; FOTH, Christian	<p><i>The ecomorphology of the shell of extant turtles and its applications for fossil turtles</i></p> <p>-</p> <p>A ecomorfologia do casco de tartarugas existentes e suas aplicações para tartarugas fósseis (tradução nossa)</p>	<p>Testar as correlações entre ecologia e toda a forma do casco das tartarugas existentes, usando morfometria geométrica tridimensional em combinação com análises multivariadas (tradução nossa).</p>	<p>Para a amostragem foram utilizados espécimes coletados como adultos na natureza, com exceção da tartaruga-de-couro por questões de disponibilidade. Foi utilizado ao menos uma espécie de cada gênero atualmente reconhecido de tartaruga existente, assim como três espécies de fósseis de tartarugas. Para reconstrução dos modelos 3D, foi utilizado o <i>scanner 3D Artec Space Spider</i> para espécies menores que 60 cm e fotogrametria de curta distância nas espécies maiores e computados no software <i>Agisoft Photoscan Professional</i> a partir de fotografias tiradas com câmera Olympus E-M10. Para as medidas morfométricas, o software <i>Checkpoint</i> foi utilizado para definir os pontos de referência nos modelos 3D. A forma geral das conchas foi capturada usando morfometria geométrica. A ecologia do habitat das tartarugas</p>

				existentes foi classificada usando a membrana de seus membros anteriores como indicadores ecológicos.
A10	BUCCHI, Ana <i>et al.</i>	<i>Recommendations for Improving Photo Quality in Close Range Photogrammetry, Exemplified in Hand Bones of Chimpanzees and Gorillas</i>  -  Recomendações para melhorar a qualidade da foto em fotogrametria de curto alcance, exemplificadas em ossos da mão de chimpanzés e gorilas (tradução nossa)	Descrever erros comuns de captura de fotos em fotogrametria de curto alcance que afetam muito a saída 3D e dicas para melhorá-los (tradução nossa)	Foi descrito o processo de produção de modelos 3D de 780 ossos da mão de chimpanzés e gorilas acessados nas coleções de primatas do Museu Real da África Central, da Coleção Zoológica do Estado de Munique e do Museu Zoológico de Barcelona. Os ossos foram fixados à uma plataforma giratória dentro de um fotocubo, que controlava a quantidade e uniformidade da luz no objeto. A aquisição de imagens foi feita utilizando uma câmera Canon EOS 1200D montada em um tripé. Também foi utilizado um controle remoto para evitar imagens borradas e tornar o processo mais confortável para o operador. A plataforma giratória foi girada a cada 20°, até que a marca de 0° ficasse voltada para a câmera novamente, resultando em 18 fotos. O software <i>Agisoft Photoscan Professional 1.2.6</i> foi utilizado para a reconstrução dos modelos 3D.
A11	KANO, Yuichi	<i>Bio-photogrammetry: digitally archiving coloured 3D morphology data of creatures and associated challenges</i>  -  Biofotogrametria: arquivamento digital de dados morfológicos 3D coloridos de criaturas e desafios associados (tradução nossa)	Contribuir para vários campos, como taxonomia, museologia, morfologia, anatomia, ecologia, educação, inteligência artificial (IA), realidade virtual, metaverso e, eventualmente, ciência aberta (tradução nossa).	Foi descrito o processo utilizado pelo pesquisador para aquisição de modelos 3D que consiste na utilização de linhas de pesca de nylon para suspensão e giro do objeto, captura de fotos digitais de vários ângulos e submissão dos dados obtidos ao software de fotogrametria 3DF Zephyr Lite (3Dflow srl, Verona, Itália).
A12	SUNVITTAYA KUL, Pongsakorn <i>et</i>	<i>Cassava root crown phenotyping using</i>	Desenvolver uma plataforma adaptável e econômica para	Foram utilizadas 19 coroas de raízes de mandioca de uma cultivar tailandesa (KU50)

	<i>al.</i>	<i>three-dimension (3D) multi-view stereo reconstruction</i>  -  Fenotipagem da coroa da raiz da mandioca usando reconstrução estéreo multivisual em três dimensões (3D) (tradução nossa)	adquirir imagens 3D de coroas de raízes de mandioca para uma avaliação detalhada de fenótipos de raízes para melhoramento de precisão, agronomia e fisiologia da cultura (tradução nossa).	selecionadas aleatoriamente. Câmeras DSLR, incluindo uma Nikon D5300, Canon EOS750D e EOS450D foram usadas para fotografia. As fotografias foram tiradas contornando a coroa da raiz para obter de 25 a 40 imagens por objeto. Como suporte físico, foi utilizado um fundo verde e uma caixa de papelão como objeto de referência 3D. Os dados obtidos foram submetidos ao software <i>Agisoft Metashape</i> para reconstrução do modelo 3D e, posteriormente, importado para o <i>Blender</i> para fechar buracos no modelo inicial e remover o objeto de referência.
--	------------	---	--	--

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto aos títulos dos trabalhos analisados, a palavra-chave mais comum é "fotogrametria", presente em oito dos doze títulos. Uma variação do termo, "biofotogrametria", aparece apenas em um título (A11). No artigo A12, é indicado o tópico específico de interesse: "reconstrução multivisual tridimensional". Por outro lado, o artigo A9 não apresenta nenhuma palavra-chave que faça referência direta ao tema em seu título, o que reflete a uma aplicação mais direta da técnica, menos experimental quanto ao uso das tecnologias 3D.

Quanto aos objetivos, onze dos artigos apresentam objetivos relacionados à proposição, descrição ou avaliação de protocolos/metodologias de produção de modelos 3D utilizando a fotogrametria digital, seja buscando o aumento na qualidade e/ou precisão dos modelos digitais produzidos em relação ao objeto real (A1 e A10), superar limitações técnicas (como digitalizar objetos transparentes e côncavos no A2 ou sensíveis a seco no A6) e/ou limitações como recursos humanos, materiais e/ou financeiros (A1,A2, A7 e A12), redução do tempo necessário para produção dos modelos digitais (A7).

Neste contexto, a frequência de produções que propõem metodologias de produção de modelos digitais 3D via fotogrametria digital demonstra o interesse dos pesquisadores em viabilizar e estimular uma utilização mais ampla da técnica, como

pode ser observado nos objetivos dos artigos A4, A7 e A11, além de refletir sobre como a capacidade de recriar objetos físicos digitalmente como uma ferramenta útil para várias disciplinas relacionadas direta ou indiretamente à Biologia, como agricultura, ecologia, morfologia e museologia, por exemplo.

Nos demais objetivos, dois se propõem a utilizar a fotogrametria digital para explorar características ecomorfológicas/adaptativas evolutivas (A3 e A9). Isso evidencia como o registro digital da anatomia externa é relevante para disciplinas como biologia evolutiva e taxonomia. Além disso, uma questão a ser levantada diz respeito à possibilidade de integrar tecnologias emergentes, como inteligência artificial, para esse tipo de análise, abordagem já utilizada em imagens 2D (NOROUZZADEH *et al.*, 2018).

Por fim, o trabalho A8, proposto por LEMÉNAGER (2022), tem como objetivo demonstrar o potencial da fotogrametria digital na construção de modelos 3D de flores, através da descrição de um protocolo de fotogrametria floral, como um meio para facilitar o estudo da forma e da cor floral. Aqui vale ressaltar que a aplicação da fotogrametria digital à Botânica demonstrou-se a mais carente em volume de publicações durante a pesquisa bibliográfica. Apesar disso, sua aplicação mostrou-se relevante para a agricultura de precisão, como apresentado nos trabalhos A1 e A12.

Outro ponto relevante é que, apesar da escassa abordagem, a aplicação da fotogrametria na Botânica apresenta potenciais diversos, já explorados em outras áreas, como nas inúmeras possibilidades de estudo da morfologia externa dos organismos. Além disso, além da sua utilidade na pesquisa, também pode apresentar diversas contribuições para o campo educacional, tanto via produção ou integração de modelos 3D no processo de ensino-aprendizagem. Isso pode aprimorar a compreensão dos alunos sobre assuntos como a morfologia e ecologia das plantas, tornando o estudo da botânica mais envolvente.

No que diz respeito aos materiais e métodos adotados nos trabalhos, apesar de tratar-se da mesma técnica (fotogrametria digital de curta distância), são utilizadas abordagens específicas influenciadas pelas características do objeto a ser

digitalizado, principalmente na fase de captura de imagens digitais, como ocorre no trabalho A6, onde foram digitalizados bicos (mandíbulas) de cefalópodes que, por serem sensíveis a desidratação, necessitam de adaptações para fotografá-los dentro de um aquário.

Os parâmetros de câmera, por comporem um tema complexo, extenso (tendo em vista a diversidade de processos e materiais que podem ser adotados devido a características como tamanho e textura, que o objeto pode possuir) e que exige um maior conhecimento técnico, não serão abordados no trabalho em questão de forma aprofundada, sendo apenas descritos os procedimentos utilizados pelos autores. Porém, se necessário, sugerimos a leitura dos trabalhos que propõem protocolos de produção de modelos 3D, como o trabalho A2, que trás uma ampla revisão sobre estes parâmetros.

No que diz respeito à resolução da câmera digital utilizada na captura de imagens, é essencial ressaltar que câmeras de alta resolução não são um item obrigatório para a fotogrametria digital. Câmeras de resolução mais baixas (sem o desempenho de uma profissional) podem produzir resultados satisfatórios em ambientes internos, como evidenciado no experimento conduzido por Zdravevski *et al.* (2015 *apud* DOAN; NGUYEN, 2023). Entretanto, tanto em ambientes internos quanto externos, o emprego de câmeras de resolução superior resultará em modelos de maior qualidade, conforme indicado por Doan e Nguyen (2023).

As especificações das imagens utilizadas para reconstrução do modelo digital, como nitidez; padronização de cores; parâmetros de temperatura e iluminação uniforme, são processos cruciais para garantir que o software de fotogrametria funcione eficazmente e descritas em todos os trabalhos. Esses padrões podem ser alcançados manualmente, em condições adequadas de aquisição de imagens, ou utilizando determinados softwares, como discutido a seguir.

Neste contexto, em alguns trabalhos foram utilizados softwares de edição de imagens, como *Adobe Photoshop* (*Adobe Systems Incorporated*, Califórnia, EUA) para remover fundo das fotos (A1), criar “consistência entre as fotos em termos de

parâmetros como temperatura de equilíbrio de branco, nitidez e raio” (DELORENZO *et al.*, 2020, p.3) ou para isolar o objeto a ser digitalizado, escurecendo o plano de fundo das imagens (A7). Outro produto Adobe Inc., o *Lightroom*, também foi utilizado para padronizar cores nas fotos (A7 e A8).

Outro fator que pode contribuir para o processo de aquisição de imagens, tornando-o mais fácil, são os suportes físicos como suportes para estabilizar a câmera, seja tripé, utilizado na maioria dos trabalhos, ou braço articulado (A6); e a utilização de mesa giratória (A2, A5, A6 e A10) ou suporte similar que permita girar o objeto 360°, respeitando os 15° a 20° a cada captura de imagens.

A etapa final do processo consiste em submeter os dados (fotografias digitais) ao software de fotogrametria para reconstrução da malha 3D. Os softwares mais utilizados, respectivamente, foram o *Metashape Professional* (A2, A6, A8 e A12) e o *Photoscan Professional* (A1, A5 e A9), ambos softwares comerciais da empresa *Agisoft LLC* (São Petersburgo, Rússia). O software *RealityCapture* (*CapturingReality*, Bratislava, Eslováquia) foi utilizado nos trabalhos A3, A4 e A7 e o *3DF Zephyr Lite* (3Dflow srl, Verona, Itália) no trabalho A10. O único software livre, *Meshroom* (*AliceVision*, França), foi utilizado parcialmente apenas um trabalho (A4).

Em alguns casos, pode ser necessário refinar o modelo 3D gerado. Para isso, nos trabalhos apontados a seguir, alguns softwares que também foram utilizados no pós-processamento do modelo 3D, seja para fechar furos na malha, remover objetos e/ou reduzir polígono, como o software de fotogrametria *Reality Capture* (A7), software de processamento gráfico *GeoMagic Studio* (A3 e A6), software de animação *Houdini* (A7), e os softwares de modelagem 3D *Blender* (A4 e A12) e *Meshmixer* (A3).

De modo geral, a acessibilidade de recursos deve-se sempre ser levada em consideração em projetos menores, em que se pretenda explorar a reconstrução digital através da fotogrametria, principalmente pela diversidade de softwares que podem ser utilizados no processo, podendo exigir algum treinamento para sua utilização e, ainda, custos para aquisição. A disponibilidade, por exemplo, de softwares livres pode beneficiar diversos projetos.

Nesse contexto, análise dos dados obtidos na caracterização do corpus amostral nos possibilitou elencar dois núcleos de sentido na pesquisa, nomeadamente: Diretrizes de produção de modelos digitais através da fotogrametria digital e Fotogrametria aplicada à análise da morfologia externa, destacando as áreas de interesse em nossa pesquisa.

Da análise temática, emergiram duas categorias temáticas: Diretrizes para produção de modelos biológicos digitais tridimensionais baseados em fotogrametria digital de curta distância, composta pelos artigos A1; A2; A4; A5; A6; A7; A8; A10; A11; e A12 e Fotogrametria aplicada ao estudo zoológico da morfologia externa, composta pelos artigos A3 e A9.

### 3. 1 DIRETRIZES PARA PRODUÇÃO DE MODELOS BIOLÓGICOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS BASEADOS EM FOTOGRAMETRIA DIGITAL DE CURTA DISTÂNCIA

Como já discutido, a produção de modelos 3D de espécimes biológicos utilizando a fotogrametria digital de curta distância oferece uma série de benefícios significativos para a pesquisa, o ensino e a conservação dos acervos biológicos (LOBO; GRILLO; AZEVEDO, 2021). No entanto, para garantir a obtenção de resultados consistentes e de alta qualidade é fundamental estabelecer diretrizes e padrões na captura e processamento de dados.

Porém, ao tratarmos da digitalização de espécimes biológicos, é evidente que iremos nos deparar com uma grande variedade de características, que incluem principalmente diferenças significativas em termos de tamanho, cores e texturas (DOAN; NGUYEN, 2023). Isso torna indispensável a elaboração de diretrizes distintas, levando em consideração o tipo de amostra a ser digitalizada, a disponibilidade de equipamentos adequados para auxiliar o processo de digitalização e, também, a quantidade de espécimes a serem digitalizados.

Dessa forma, tendo em vista a baixa produção de material pertinente ao assunto na literatura nacional, consideramos que conhecer os protocolos já propostos para a digitalização de espécimes biológicos por meio da fotogrametria digital é um passo fundamental para estimular novas iniciativas, como forma de conhecer alternativas viáveis e otimizar os resultados obtidos a partir dos recursos disponíveis. Dessa forma, apresentaremos e discutiremos a seguir os procedimentos utilizados nos trabalhos levantados durante a pesquisa bibliográfica.

No artigo A1, Lavaquioli *et al.* (2021) apresentam uma metodologia para obter nuvens de pontos 3D precisas de uma árvore frutífera desfolhada (*Malus domestica Borkh.*), aplicável em agricultura de precisão. Para isso, foi utilizada uma árvore real de 2,5m de altura e 2m de largura, fixada em um palete com rodas para que o objeto fosse girado sobre de seu eixo vertical. Para a captura de imagens, um câmera digital EOS-60D 18 mp CMOS Digital SLR (Canon, Tóquio, Japão), equipada com lentes EF 50mm f/1.4 (Canon, Tóquio, Japão), foi posicionada a 4m de distância.

Conforme descrevem os autores (*op. cit.*), as fotos foram tiradas dentro de um prédio para garantir melhores condições de iluminação. Para gerar estereoscopia, as fotografias foram tiradas 0,4m para a esquerda do eixo horizontal do objeto (ponto A) e, posteriormente, 0,4m para a direita (ponto B). Além disso, as fotografias foram tiradas em quatro alturas diferentes (0,77m, 1,33m, 1,89m e 2,45m). O total de imagens capturadas foi de 288, correspondendo a 36 fotografias (uma a cada 10° de rotação do objeto) de cada posição (A e B) e das quatro alturas.

As imagens obtidas foram submetidas ao software de fotogrametria *PhotoScan Professional 1.1.6* (Agisoft LLC, São Petersburgo, Rússia). Porém, por inconsistências geradas pelo fundo do cenário, o que afetou a qualidade dos primeiros modelos gerados, o software *Photoshop CS3 extended v10.0* (Adobe Systems Incorporated, San Jose, CA) foi utilizado para tratamento adicional das imagens (remoção dos fundos) antes de submetê-las novamente ao software de fotogrametria (LAVAQUIOLI *et al.*, 2021).

Após ser gerada, a réplica 3D foi dimensionada com base nas medidas do objeto de referência, resultando em uma nuvem composta por 49.751.573 pontos.

Pela alta demanda de recursos computacionais, o número de pontos foi reduzido para 1 milhão utilizando o software *CloudCompare v2.6.1* (EDF R&D, Paris, França), tornando sua manipulação mais conveniente. A nuvem de pontos resultante incluía dados de coordenadas (x,y e z) e de cores (LAVAQUIOL *et al.*, 2021).

A principal demanda observada, por se tratar de uma amostra de grande porte, diz respeito ao grande volume de dados gerados para a produção de um modelo fiel, o que aumenta consideravelmente a demanda por recursos computacionais em termos de armazenamento e processamento destes dados. Isso também afeta diretamente a necessidade de um computador que possua um alto desempenho gráfico e aumentando significativamente o tempo de produção da nuvem de pontos, o que pode inviabilizar projetos que disponham de poucos recursos e grandes acervos.

As informações sobre o hardware utilizado foram omitidas no artigo, dificultando uma análise precisa dos recursos necessários. Ainda assim, o protocolo apresentou resultados notáveis na criação de modelos 3D, revelando potencial para aplicação em amostras biológicas de grande escala, não se limitando a espécies botânicas.

No artigo A2, Doan e Nguyen (2023) apresentam uma proposta de um scanner de baixo custo em comparação a outras técnicas mais sofisticadas de digitalização, destinado à digitalização de insetos, mas com versatilidade para aplicação em outros diversos tipos de espécimes. Entre as vantagens do scanner em questão, além da redução da necessidade de mão de obra, também se destaca pela agilização do processo de aquisição de imagens através da automação desta etapa.

O sistema de digitalização proposto pelo autores incorporou uma câmera EOS R (Canon, Tóquio, Japão) sem espelho de 30,3 MP, equipada com uma lente MP-E 65mm 1:2,8 1-5X Macro (Canon, Tóquio, Japão), fixada no Stackshot Macro-Rail (Cognisys, Michigan, EUA). Este dispositivo movimenta a câmera ao longo do eixo X, permitindo a captura de imagens de espécimes em várias distâncias focais. Duas mesas giratórias *Cognisys* (Michigan, EUA) foram

empregadas para girar e inclinar a amostra ao longo dos eixos Y e Z, facilitando a captura em diferentes orientações. Um anel de luz foi utilizado para iluminar uniformemente a amostra (DOAN; NGUYEN, 2023).

A captura de imagens é controlada pelo dispositivo *Cognisys StackShot 3X* (*Cognisys*, Michigan, EUA), que aciona a câmera e controla os demais dispositivos. Além disso, um computador foi utilizado para configurar e controlar o *Cognisys StackShot 3X*, armazenar automaticamente as imagens capturadas e reconstruir os modelos 3D. O software de fotogrametria utilizado para reconstrução do modelo 3D foi o *Agisoft Metashape Professional Edition* (Agisoft LLC., São Petersburgo, Rússia) (DOAN; NGUYEN, 2023).

Como resultado da pesquisa, foram obtidos modelos 3D de insetos com tamanhos que variam entre 15mm e 30mm de comprimento, e larguras de 5mm a 19mm. Todos esses modelos apresentaram alta resolução e mantiveram as cores naturais dos espécimes. Apesar disto, pelo tamanho dos espécimes digitalizados, algumas estruturas como patas, pelos e antenas; assim como algumas texturas, como côncavas e transparentes, apresentaram dificuldades de reconstrução. Os modelos obtidos foram hospedados no site Sketchfab e podem ser visualizados e baixados pelo link <https://sketchfab.com/dtngghiagu> (DOAN; NGUYEN, 2023).

Apesar da proposta de um scanner de baixo custo, os autores estimam o valor de instalação entre US\$3.000 e US\$5.700 (incluindo câmera, computador, licenciamento do software e demais equipamentos) (DOAN; NGUYEN, 2023). Para nossa realidade, seria necessário ainda considerar os custos de importação de determinados itens. Porém, soluções similares podem ser produzidas através de projetos interdisciplinares (contando com programador(es), por exemplo) ou através de buscas por alternativas tecnológicas mais acessíveis no mercado nacional.

Como é possível observar, a precisão dos modelos 3D é uma preocupação constante nos protocolos de digitalização de acervos biológicos. A esse respeito, ao representarmos fielmente um espécime biológico, ampliamos as possibilidades de utilização desses modelos. Como apontado por Irschick *et al.* (2020) no artigo A4, especificamente tratando da representação de mamíferos marinhos, modelos 3D

precisos oferecem uma opção viável de representação destes espécimes, tendo em vista que mesmo em acervos de museus estes grupos não são bem representados por exemplares relativamente intactos.

Neste sentido, os autores (*op. cit.*) propõem um processo de recriação precisa de botos (*Phocoena phocoena*) vivos e mortos usando a fotogrametria 3D. Para isso, foram utilizadas abordagens distintas para aquisição de imagens das amostras: para os botos mortos (dois), foi utilizada uma câmera portátil (Canon T6i com lente 50 mm) para captura de imagens para recriação de uma malha 3D básica do formato corporal e um drone (*DJI Inspire 1 Pro* com câmera *Zenmuse X5* e lente 25mm) para captura de imagens usadas para medir o comprimento e largura corporal, garantindo uma recriação mais precisa das amostras.

Também foram utilizadas duas fontes de dados para o boto vivo, um pouco diferente dos botos mortos: uma *GoPro* foi utilizada para captura de um vídeo do boto em salto, do qual foram retiradas fotos de 17 quadros que foram utilizadas para construção da malha básica do formato corporal e também foi utilizado o drone para captura de vídeo do plano dorsal do boto em nado para recriação do corpo quando embaixo d'água (IRSCHICK *et al.*, 2020).

Para construção da malha básica dos botos foi utilizado o software *Capturing Reality* (*Epic Games, Inc.*, Carolina do Norte, EUA). Em seguida, os modelos foram exportados para o *Blender* (*Blender Foundation*, Amsterdam, NLD) para produção de um modelo final anatomicamente correto utilizando as medidas de referência (comprimento e largura) para dimensionar adequadamente a malha. Foram gerados três modelos 3D individuais e sua precisão foi confirmada por meio de comparações de medições digitais e medições morfométricas feitas nos espécimes reais (IRSCHICK *et al.*, 2020).

O principal destaque do protocolo em questão consiste na possibilidade de recriação de espécimes vivos, como o boto utilizado no estudo. Isso amplia ainda mais as possibilidades de utilização da fotogrametria digital, tendo em vista que a grande maioria dos protocolos para a recriação de espécimes em 3D, como

observado ao decorrer do trabalho em questão, concentram-se na produção de modelos 3D de espécimes mortos preservados em acervos.

Os protocolos mencionados anteriormente (A1 e A2) abordam estudos em condições laboratoriais, geralmente direcionadas a objetos com estruturas secas. No entanto, destaca-se o artigo A4 e A6, cujo foco reside na implementação destas técnicas em amostras úmidas ou suscetíveis à desidratação, sendo o estudo apresentado no trabalho A6 voltado para digitalização da morfologia do bico de cefalópodes. Nesse contexto, Roscian *et al.* (2021) propõem um protocolo de fotogrametria subaquática como uma alternativa viável, notável pela sua economia, reprodutibilidade e portabilidade.

A morfologia do bico de cefalópodes se destaca por estar intrinsecamente alinhada aos desafios anteriormente mencionados, sobretudo devido à sua natureza úmida e suscetível à secagem. Esta morfologia complexa, caracterizada por estruturas delicadas e uma superfície lisa e homogênea, impõe dificuldades significativas na criação de modelos 3D precisos quando fora do ambiente aquático (MISEREZ *et al.*, 2008 *apud* ROSCIAN *et al.*, 2021).

Neste estudo, quatro espécies distintas foram usadas para avaliar um protocolo de fotogrametria subaquática, abrangendo variações de tamanho, cor, espessura, transparência e características de reflexão. As imagens foram capturadas em uma caixa d'água usando uma câmera Powershot G7X Mark II (Canon, Tóquio, Japão), com distância focal de 15,2 mm e abertura F/3.5. O processamento foi feito com o software Agisoft Metashape (versão 1.4.0, Agisoft LLC., São Petersburgo, RUS), e o MeshLab 2016.12 (AliceVision, França) foi usado para evitar lacunas na malha (ROSCIAN *et al.*, 2021).

Apesar de algumas limitações, como a falha em capturar certas áreas - o que, segundo os autores (*op. cit.*), pode ser facilmente resolvido utilizando câmeras de melhores resoluções e melhor iluminação -, os modelos 3D resultantes foram altamente precisos na análise da morfologia dos bicos de cefalópodes, superando as imagens 2D. Em comparação com a Micro-CT de alta resolução, que é mais demorada e cara, a fotogrametria se destacou como uma abordagem eficaz e

acessível para reconstruir modelos representativos de bicos de cefalópodes (ROSCIAN *et al.*, 2021).

Destaca-se ainda no trabalho que a aplicação bem-sucedida da fotogrametria em objetos maleáveis, facilmente desidratáveis e sensíveis, como conchas, cartilagem ou estruturas quitinosas, demonstrando a versatilidade deste método na reconstrução de uma variedade de estruturas tridimensionais (ROSCIAN *et al.*, 2021). A precisão e eficácia da fotogrametria nesses casos ressaltam a sua aplicabilidade em diversos contextos, contribuindo significativamente para a pesquisa e análise de objetos biológicos complexos.

Graças a essa versatilidade, a fotogrametria digital também tem se destacado na recriação de esqueletos digitais. Conforme Kuzminsky e Gardiner (2012 apud MORGAN; FORD; SMITH, 2019), no contexto da antropologia biológica e arqueologia, a recriação desses modelos digitais representa uma solução promissora para evitar a perda de dados associada à repatriação e ao novo sepultamento de exemplares, além de oferecer um método não destrutivo, menos intrusivo e mais eficiente de capturar aspectos da variação do esqueleto humano.

Neste contexto, no artigo A5, Morgan, Ford e Smith (2019) propõem investigar as melhores práticas na produção de crânios digitais 3D através da fotogrametria digital em termos de precisão métrica e geral e, a partir disso, propor um método fácil de criação modelos digitais precisos. Para isso, foram utilizados três crânios adultos intactos selecionados da coleção *Athenaeum Place* da Universidade de Bournemouth (Reino Unido). Para determinar a precisão dos modelos, medições foram realizadas utilizando pequenos forames ou porosidades como referência, sendo definidas 50 medições de forma aleatória.

Para a aquisição de imagens, empregou-se uma câmera Canon EOS 500D (Canon, Tóquio, Japão), com resolução de 15,1 megapixels e uma lente EF-S 18–55mm (Canon, Tóquio, Japão), fixada sobre um tripé, variando entre três alturas a 50 cm da amostra. Um pano branco foi disposto para uniformizar o fundo ao redor da plataforma giratória. A captura ocorreu com a amostra orientada em três posições distintas para cada altura do tripé, tirando uma fotografia a cada 15° durante a

rotação de 360° da plataforma. Isso resultou em aproximadamente 200 fotos para cada crânio (MORGAN; FORD; SMITH, 2019).

Conforme os autores (*op. cit.*), os modelos gerados em configurações mais altas, como esperado, tiveram desempenhos superiores. Apesar disso, a maioria dos modelos apresentou boa texturização e representou com precisão as contrapartes físicas, mantendo um alto nível de concordância com suas medidas. Essas medidas variaram entre 0,02mm e 0,48mm de desvio, o que se enquadra na faixa de erro permitida na osteometria, que é de 2mm.

Nesse contexto, embora a busca por métodos que gerem modelos 3D de alta qualidade seja considerada crucial nos procedimentos de fotogrametria digital, é essencial salientar que modelos de qualidade intermediária podem desempenhar um papel significativo no ensino das ciências. Esse aspecto ganha relevância ao ser comparado com os métodos de representação tradicionais em 2D, conforme destacado por vários autores, incluindo Castro (2018) e Roncaglio, Crisostimo e Stange (2020). Entre os efeitos positivos citados pelos autores acerca do uso de representações 3D estão a promoção da motivação e do interesse nos alunos.

Como já apontado anteriormente, uma das principais vantagens associadas à fotogrametria digital, em comparação com outras técnicas de digitalização 3D, consiste na capacidade de preservação de características morfológicas externas do objeto digitalizado, incluindo cores. Nesse contexto, a abordagem proposta no trabalho A7 por Medina *et al.* (2020) apresenta um método rápido e econômico para criar modelos 3D detalhados de espécimes de história natural, preservando características não visíveis em outras técnicas.

Para demonstração do método, foram utilizados espécimes-tipo de 40 espécies da coleção de pássaros do Laboratório Moore de Zoologia (*Occidental College*, Los Angeles, CA). Para a captura de imagens, foi utilizada uma câmera Sony a7rii ( Sony Corporation, Tóquio, Japão) pelo tamanho do sensor (42 MP) e uma lente macro de 90 mm para detalhes precisos. A depender do tamanho da amostra, a lente foi alternada (15 mm). Para o processamento dos dados digitalizados, utilizou-se um PC Windows equipado com um processador Intel i7,

16GB de RAM e uma placa gráfica Nvidia GeForce GTX 1080 (MEDINA *et al.*, 2020).

O suporte físico consistiu em um suporte projetado para aves pequenas e médias, foi fixado em uma mesa giratória para facilitar registros fotográficos em 360 graus. Utilizaram-se duas fontes de iluminação (softboxes) e um pano fosco como fundo. Cada amostra teve 288 fotos capturadas, importadas para o Adobe Lightroom (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA) para ajuste de balanço de branco e correção de cores. As imagens, então, foram exportadas em alta qualidade para o Adobe Photoshop (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA), destacando o espécime e obscurecendo o fundo (MEDINA *et al.*, 2020).

Para a reconstrução da malha 3D, optou-se pelo Reality Capture (CapturingReality, Bratislava, Eslováquia), gerando uma nuvem de alta resolução com 200.000 pontos em 10 a 20 minutos. O software destaca-se pela eficiência, superando o Metashape em velocidade, sendo ideal para grandes coleções. Para processar a malha resultante, por sua vez, empregaram-se o Zbrush (Pixologic Los Angeles, Califórnia, EUA) removendo partes indesejadas, e o Houdini (SideFX, Toronto, Canadá), para redução de polígonos e correção de defeitos topológicos (MEDINA *et al.*, 2020).

Após a otimização da malha, a mesma é importada novamente para o software Reality Capture (CapturingReality, Bratislava, Eslováquia) para gerar o modelo 3D final e submetido a um visualizador 3D para inspeção final de escala, textura e posicionamento no ambiente 3D. Como resultado, 40 modelos 3D foram produzidos e disponibilizados gratuitamente no Sketchfab (atualmente desabilitados). Entre os destaques do protocolo em questão, como tempo de produção dos modelos 3D, custos de instalação e preservação da cor, está a precisão dos modelos, sendo comparáveis a medições feitas à mão (MEDINA *et al.*, 2020).

Apesar do maior volume de trabalhos que propõem a utilização da fotogrametria digital na digitalização de espécimes animais, essa tecnologia também pode ser amplamente utilizada em espécimes vegetais, mesmo as de grande porte

como demonstrado no trabalho A1. Leménager *et al.*, 2022, por sua vez, propõem no trabalho A8 uma abordagem que pode auxiliar na compreensão de características cruciais das flores, como forma, tamanho e cor. Essa compreensão é fundamental, como apontado pelos autores, para entender o desenvolvimento floral, seu papel na ecologia e a evolução de espécies associadas.

Embora estudos recentes, exemplificados por Hsu *et al.* (2020), Reich *et al.* (2020) e Artuso *et al.* (2022), tenham explorado modelos tridimensionais de flores, sua aplicação é bastante restrita devido aos altos custos associados à utilização de micro-CT, sendo essa técnica mais amplamente utilizada na modelagem de plantas. Além disso, técnicas de digitalização por raio X, como a própria Micro-CT, podem resultar na perda de cor durante a reconstrução do modelo, limitando sua utilização.

Nesse contexto, o estudo A8 destaca o potencial da fotogrametria digital para preservar tanto a morfologia externa, como também a coloração natural das flores, representando um avanço significativo em relação às técnicas mais populares de reconstrução 3D. Assim, para a condução deste estudo, utilizou-se uma câmera digital reflex de lente única (DSLR) e uma lente macro de distância focal fixa para a aquisição de imagens (LEMÉNAGER *et al.*, 2022).

Para cada amostra, um total de 54 fotografias foi registrado e salvo no formato RAW, utilizando uma abertura de F16 (para uma maior profundidade de campo), ISO mais baixo para evitar ruído de imagem e uma velocidade do obturador ajustada para permitir a quantidade adequada de luz. Para padronização de cores das imagens, foi utilizados um perfil de cores DNG (*Digital Negative*), que pode ser criado usando conversor *Adobe Digital Negative* (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA), e submetendo as imagens resultantes ao Adobe Lightroom (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA) (LEMÉNAGER *et al.*, 2022).

Após esse processo, obteve-se reproduções precisas das cores das flores para análises posteriores dos padrões de pigmentação. Utilizou-se o *Metashape Professional Edition* versão 1.7 (Agisoft LLC., São Petersburgo, Rússia) para gerar a nuvem de pontos (LEMÉNAGER *et al.*, 2022). Os modelos de diversas famílias de Angiospermas foram concluídos em 30 minutos a 2 horas, dependendo da

complexidade do projeto e dos recursos computacionais. Representando fielmente formas, cores, tamanhos e simetria, esses modelos foram depositados no Sketchfab e estão disponíveis em [sketchfab.com/plantevolution](https://sketchfab.com/plantevolution) (LEMÉNAGER *et al.*, 2022).

Como pode ser observado nos demais trabalhos apresentados, a aquisição de imagens representa uma etapa crucial para a garantia da qualidade final do modelo 3D. Porém, como apontado por Bucchi *et al.* (2020), no artigo A10, a maioria dos pesquisadores que utilizam a fotogrametria digital não é formada por especialistas em fotografia ou fotogrametria. Assim, uma preocupação do trabalho em questão consiste em propor diretrizes abrangentes que auxiliem iniciantes a obterem melhores resultados na captura de imagens dos objetos a serem digitalizados.

Os autores empregaram a fotogrametria digital na reconstrução de mãos de macacos africanos, compostas por 27 ossos (quatro destes foram selecionados como amostra), variando de 1 a 10 cm (*op. cit.*). Para a aquisição de imagens, utilizaram um fotocubo para controle da iluminação, uma plataforma giratória interna e uma câmera EOS 1200D (Canon, Tóquio, Japão) com lente macro EFS 18-55 (Canon, Tóquio, Japão), 18MP. A câmera, montada a 45° em relação ao objeto, foi conectada a um controle remoto no tripé para facilitar o processo de captura (BUCCHI *et al.*, 2020).

O processo de aquisição de imagens consistiu em colocar o objeto sobre a plataforma giratória com a marca de zero grau voltada para câmera. A plataforma foi girada a cada 20°, resultado em 18 fotos. Em seguida, o osso é virado 180° de modo a expor a superfície que estava voltada para a plataforma giratória, resultado em um total de 36 fotos por osso (BUCCHI *et al.*, 2020). Os autores apresentam, ainda, dicas de como obter melhores resultados na captura de imagens em termos de quantidade e distribuição de luz adequada; como adequar a exposição de objetos em relação ao fundo, ajuste de escala e número de fotos adequados (*op. cit.*).

As imagens foram processadas no PhotoScan Professional 1.2.6 (Agisoft LLC., São Petersburgo, RUS) para reconstrução 3D. Apesar da textura lisa de alguns ossos impor limitações ao protocolo, foram obtidos modelos de alta

qualidade, adequados para usos científicos. O protocolo é aplicável a diversas amostras, contanto que caibam no fotocubo. O destaque do trabalho reside na descrição simplificada de práticas facilitadoras para obter boas fotos (BUCCHI *et al.*, 2020), tornando-o referencial altamente recomendado para iniciantes em fotogrametria.

Como observado, a fotogrametria digital pode ser utilizada em diversos tipos de amostras biológicas, apesar de algumas limitações parecerem geralmente atreladas ao uso ou à indisponibilidade de equipamentos mais precisos/limitações técnicas. Porém, tendo em vista que reduzir custos é um meio para tornar a fotogrametria digital mais popular e fomentar novos projetos nacionais que explorem seu potencial, protocolos como o A11, proposto por Kano (2022), destacam-se exatamente pela acessibilidade em termos de equipamentos utilizados.

No protocolo em questão, o objeto é suspenso por linhas de náilon e fotos são tiradas de vários ângulos. Segundo o autor, alguns pontos técnicos precisam ser lembrados nessa etapa: o valor de abertura deve estar em uma configuração mínima para que seja possível focar em várias partes do objeto, assim como um flash fotográfico forte para garantir que boas fotos sejam tiradas com um valor de abertura tão baixo; um fundo liso é mais adequado ou uma placa anti-reflexo preta; e, por fim, devem ser tiradas tantas fotos quantas forem possíveis, posteriormente sendo selecionadas as melhores e excluídas as desfocadas e duplicadas (KANO, 2022).

Após selecionadas as fotos (500, que é o número máximo de imagens suportadas pelo software utilizado), essas são submetidas ao software de fotogrametria *3DF Zephyr Lite* (3Dflow srl, Verona, Itália) que, segundo o próprio autor, pode ser substituído por qualquer outro software fotogramétrico a disposição (*op. cit.*). A partir deste protocolo foram produzidos e publicados mais de 1000 modelos 3D pelo autor no *Sketchfab* (alguns exemplos podem ser acessados pelo link: <https://sketchfab.com/ffishAsia-and-floraZia>) (KANO, 2022).

Por fim, o autor aponta algumas limitações na técnica, como impossibilidade de reconstruir espécimes transparentes, desafio também abordado por Doan e Nguyen (2023); a dificuldade de reconstruir olhos, pela absolvição fisiológica de luz;

e objetos muito pequenos (< 5mm) ou grandes (> 1m) utilizando esse protocolo (*op. cit.*). Porém, como também apontado pelo autor, o desenvolvimento de novos protocolos e softwares irão resolver essas limitações, ampliando as possibilidades de produção de modelos 3D de objetos mais complexos (KANO, 2022).

Cientes de que produção de modelos 3D da morfologia externa de espécimes biológicos possui uma ampla gama de aplicações práticas e sendo a fotogrametria digital uma ferramenta barata e prática para a sua produção, o protocolo elaborado por Sunvittayakul *et al.* (2022), no artigo A12, propõe a utilização da fotogrametria digital para a produção de modelos tridimensionais de coroas de raízes de mandioca (CRM) (*Manihot esculenta crantz*) como meio de otimizar a análise fenotípica de forma superior aos meios manuais e detecções digitais que utilizam imagens 2D.

Conforme descrito pelos autores (*op. cit.*), para escolher as CRM, 19 amostras da cultivar tailandesa KU50 foram separadas, previamente utilizadas em ensaios para otimização e fenotipagem. Câmeras DSLR (Nikon D5300, Canon EOS750D e EOS450D) foram empregadas, mantendo as mesmas configurações: F/stop mais alto com uma abertura menor, alta profundidade de campo, ISO < 400 para evitar ruído, equilíbrio de branco automático, tamanho médio de imagem (15 mb) e flash desativado. As amostras foram posicionadas sobre um fundo verde, com uma caixa de papelão como referência (SUNVITTAYAKUL *et al.*, 2022).

Foram capturadas de 24 a 45 imagens para cada amostra, contornando a coroa da raiz. Essas imagens foram exportadas para o *Agisoft Metashape 1.6.5 standard edition* (Agisoft LLC., São Petersburgo, Rússia). O processo incluiu o alinhamento das fotos, a construção da nuvem de pontos e, em seguida, a geração da malha. A malha passou por uma eliminação manual de ruído e fundo para obter um modelo 3D limpo (SUNVITTAYAKUL *et al.*, 2022). No pós-processamento, o arquivo do modelo digital (.obj) foi transferido para o Blender 2.90.1 (Blender Foundation, Amsterdam, NLD) para fechar buracos e redimensionar o modelo (SUNVITTAYAKUL *et al.*, 2022).

Como resultados, os modelos realistas das CRM foram obtidos com êxito, exigindo um mínimo de 25 fotos para garantir alta qualidade, com um tempo médio

de processamento de 45 minutos. No entanto, a precisão volumétrica foi relativamente baixa, apesar da acurácia das medições. Segundo os autores (*op. cit.*), a limitação de dados do interior das coroas impactou a precisão do modelo. A solução envolveu dividir os modelos ao meio usando o Blender antes do cálculo de volume. A análise fenotípica dos modelos 3D possibilitou uma avaliação detalhada das CRM, destacando sua eficácia (SUNVITTAYAKUL *et al.*, 2022).

O crescente interesse e avanços no campo da fotogrametria digital de curta distância para a produção de modelos biológicos digitais tridimensionais revelam um potencial transformador na pesquisa científica. A diversidade de aplicações, evidenciada pelos estudos apresentados, destaca a versatilidade e eficácia dessa técnica em diversos campos, desde a biologia marinha até a antropologia e botânica. A capacidade de preservar detalhes morfológicos externos, cores naturais e texturas torna a fotogrametria digital uma ferramenta inestimável na análise de estruturas complexas e na documentação de espécimes.

Contudo, é crucial reconhecer que a fotogrametria digital não está isenta de desafios, como a necessidade contínua de otimização de protocolos para objetos transparentes e finos (KANO, 2022; DOAN E NGUYEN, 2023) ou texturas lisas, como apontado por Bucchi *et al.* (2020). No entanto, conforme evidenciado pelos estudos apresentados, há um interesse ativo de diversos pesquisadores em superar esses obstáculos e tornar a fotogrametria mais amplamente utilizada, buscando constantemente melhorias e inovações na técnica.

Em última análise, a produção de modelos biológicos digitais tridimensionais por meio da fotogrametria digital de curta distância é mais do que uma técnica de documentação de espécimes; é uma ferramenta extremamente útil para o conhecimento científico, assim como para o seu ensino e divulgação. À medida que essa área evolui, espera-se que as diretrizes fornecidas sirvam como um guia valioso, capacitando pesquisadores a explorar as vastas possibilidades oferecidas pela fotogrametria digital nas ciências biológicas.

## 3.2 FOTOGRAMETRIA APLICADA AO ESTUDO ZOOLOGICO DA MORFOLOGIA EXTERNA

A fotogrametria, embora subexplorada, apresenta um potencial notável em estudos biológicos, especialmente em análises da morfologia externa animal. Entre as características já citadas da técnica estão a sua precisão, eficiência, custo reduzido em comparação a outras técnicas para produção de modelos 3D e abordagem não invasiva. Ao capturar imagens de alta resolução e criar modelos tridimensionais realistas, a fotogrametria permite uma análise minuciosa das características físicas das amostras, abrangendo aspectos como forma corporal, padrões de cores e texturas da pele.

Além disso, outra possibilidade atrelada ao seu uso diz respeito à possibilidade de documentar a morfologia externa dos animais ao longo do tempo, permitindo o monitoramento de mudanças morfológicas em resposta a fatores ambientais, comportamentais ou evolutivos. Como já citado anteriormente, a integração de tecnologias emergentes como as inteligências artificiais, podem tornar-se uma tendência, permitindo uma análise mais rápida e precisa de um maior volume de dados, o que pode trazer grande contribuição à compreensão da diversidade e adaptação animal.

Porém, sua aplicação ao estudo morfológico depende de uma maior precisão dos modelos gerados, tornando os equipamentos necessários para produção mais custosos, podendo ser necessária a aquisição de uma ou mais câmeras profissionais, a depender da abordagem que se pretende utilizar para captura de imagens, além de equipamentos adicionais como lentes ou flash mais adequados a situação. Por sua vez, imagens de alta resolução dependem de mais recursos para processamento, dependendo de um computador mais robusto e o melhor aproveitamento desses dados também dependerá de softwares mais sofisticados.

Neste contexto, é crucial considerar a necessidade de profissionais especializados para maximizar a efetividade desses recursos. Infelizmente, essa demanda não é facilmente atendida na maioria dos projetos de fotogrametria para acervos biológicos digitais (BUCCHI *et al.*, 2020). Isso é ainda mais evidente diante

da situação nacional em relação à pesquisa acadêmica e aos custos dos equipamentos. No entanto, apesar desses desafios, os modelos digitais 3D têm se mostrado valiosos em estudos de morfologia comparada, como indicado pelos artigos encontrados na pesquisa.

Na retratação feita por Delorenzo *et al.* (2020) no artigo A3, utilizou-se a fotogrametria digital para compreender a escala do eixo corporal de 12 espécies de lagartos do gênero *Brachymeles*. Devido à natureza complexa do eixo do corpo, os métodos 3D são importantes para compreender como o eixo do corpo evolui, determinando características valiosas que permitirão analisar o processo evolutivo desses animais. Foram fotografados o lado dorsal e ventral de cada espécime, utilizando uma Câmera Canon Powershot G16 (Tóquio, Japão), montada em um tripé e equipada com um gatilho sem fio, além de luzes de LED para eliminar sombras (DELORENZO *et al.*, 2020).

Conforme descrevem os autores (*op. cit.*), cada uma das amostras foi colocada com o lado dorsal para baixo e posteriormente para cima, em uma mesa giratória que realizava rotação completa de 360°, resultando em cerca de 50 fotos para cada rotação completa, com resolução de 4 K × 3 K pixels. Posteriormente, cada arquivo foi carregado no Adobe Photoshop (Adobe Inc., San Jose, Califórnia, EUA) para manter constância entre as fotos nos termos de parâmetros como temperatura de equilíbrio de branco, nitidez e raio.

Após a conclusão, as fotos foram carregadas no software *Reality Capture* (CapturingReality, Bratislava, Eslováquia), que utiliza algoritmos padrão de fotogrametria para alinhar imagens 2D e depois converter o sistema xy em xyz. Em seguida, foram exportadas como arquivos OBJ e importadas para o Meshmixer (AliceVision, França) para serem dimensionadas uniformemente em milímetros usando o conjunto de ferramentas "Measure", antes de serem transportadas para o GeoMagic Studio 2014.1.0 (3D Systems, Carolina do Sul, EUA) para realizar a união das peças dorsais e frontais com a ferramenta "lixa" (DELORENZO *et al.*, 2020).

A precisão dos modelos 3D foi adequada para investigação proposta, variando de 0,938 a 0,996 (diferença da amostra digital para a física). Além disso, demonstrou padrões de escala da circunferência e área transversal em diferentes

pontos ao longo do corpo dos animais, sendo a evolução do eixo do corpo representada como um aspecto-chave da diversificação morfológica entre os vertebrados, especialmente entre lagartos e cobras. O protocolo resultou em pontos importantes sobre a usabilidade da fotogrametria, principalmente para reconstruir e analisar com eficácia amostras preservadas em fluidos e de corpo mole (DELORENZO *et al.*, 2020).

O estudo A9 propõe investigar a carapaça das tartarugas, destacando sua importância para funções biológicas como proteção, regulação térmica e de pH, além de sua adaptação ecológica. A pesquisa aborda uma lacuna nos estudos prévios, que pouco exploraram a conexão entre a morfologia da carapaça e a ecologia, especialmente no que tange à identificação de preferências de habitat em espécies fósseis. Para aprofundar esse entendimento, foi realizado um estudo 3D envolvendo 69 espécies de tartarugas atuais e 3 fósseis, com o objetivo de examinar de forma explícita a relação entre a forma da concha e a ecologia desses animais (DZIOMBER; JOYCE; FOTH, 2020).

Duas técnicas principais foram empregadas para a aquisição dos modelos 3D. Primeiramente, o scanner 3D Artec Space Spider (Artec 3D, Luxemburgo, Bélgica), que opera com luz estruturada, foi usado para escanear a maioria dos espécimes com comprimento de até 60 cm. Após a captura, a reconstrução dos modelos ocorreu por meio do Artec Studio Professional 10 (Artec 3D, Luxemburgo, Bélgica). Posteriormente, os modelos reconstruídos foram processados utilizando o software Agisoft Photoscan Professional (São Petersburgo, Rússia), que computou os dados a partir de fotografias capturadas com uma câmera Olympus E-M10 (Tóquio, Japão) (DZIOMBER; JOYCE; FOTH, 2020).

Pesquisas anteriores, como as conduzidas por Claude *et al.* (2003) e Angielczyk & Folhas (2007), empregaram marcos do tipo I, derivados dos contatos entre ossos e placas epidérmicas subjacentes, como pontos de referência. Contudo, a variabilidade anatômica entre as tartarugas, algumas das quais podem faltar certos ossos dérmicos ou placas epidérmicas, limita a aplicabilidade desses marcos ao restringir a análise a um espectro reduzido de morfotipos. Para contornar essa limitação adotou-se uma metodologia alternativa. Esta nova abordagem utiliza

dez marcos homólogos e 255 semipontos, distribuídos ao longo de doze curvas, focando em pontos geométricos específicos, especialmente os mais anteriores.

A análise discriminante linear revelou dois tipos distintos de conchas: uma associada a tartarugas predominantemente aquáticas e outra à terrestres. No entanto, a maioria das tartarugas existentes atualmente apresentam uma morfologia intermediária, sugerindo que a forma da concha é influenciada por fatores além da ecologia. Essa descoberta sugere cautela ao usar a forma da concha para inferir a paleoecologia de tartarugas fósseis (DZIOMBER; JOYCE; FOTH, 2020).

Adicionalmente, a noção simplista de que as carapaças em forma de cúpula indicam um habitat terrestre e carapaças achatadas, um aquático, é desafiada pelos resultados. Muitas tartarugas com conchas abobadadas vivem em ambientes aquáticos, mostrando que essa regra não se aplica universalmente. Essa descoberta destaca a complexidade da relação entre a morfologia da tartaruga e seu habitat, demonstrando a importância do estudo em conjunto a técnica de fotogrametria empregada para realizá-lo (DZIOMBER; JOYCE; FOTH, 2020).

Em suma, como se pode observar, a aplicação da fotogrametria digital no estudo da morfologia externa zoológica traz consigo diversas possibilidades de contribuições ao campo. Por meio da captura e análise de imagens precisas, os pesquisadores podem observar e comparar a diversidade morfológica e as estratégias de sobrevivência das espécies, contribuindo para diversos campos do conhecimento, como, até mesmo, para a conservação. Assim, a fotogrametria emerge como uma ferramenta no arsenal de estudos zoológicos, promovendo avanços significativos na compreensão e preservação da fauna.

#### 4. CONCLUSÃO

Em conclusão, a fotogrametria digital representa uma abordagem inovadora e promissora para a virtualização 3D de coleções biológicas, com o potencial de aplicações. Esta revisão narrativa destacou a eficácia e versatilidade dessa técnica na criação de modelos tridimensionais precisos e detalhados de espécimes biológicos, abrindo novas possibilidades para a pesquisa, educação e conservação. Ao permitir o acesso remoto e a análise não invasiva de espécimes, a fotogrametria digital permite superar as limitações das abordagens tradicionais de estudo de coleções biológicas.

Além disso, a capacidade de preservar e compartilhar conhecimento biológico de forma virtual oferecem vastos benefícios à comunidade científica e educacional, democratizando o acesso à informação. Além disso, os resultados de estudos científicos podem ser facilmente visualizados através de modelos digitais, armazenados, compartilhados e acessados via plataformas online como o Sketchfab. No entanto, para maximizar o potencial da fotogrametria digital na virtualização 3D de coleções biológicas, são necessários avanços técnicos e metodológicos significativos.

Nota-se um esforço de pesquisadores de diversas áreas em possibilitar uma utilização mais ampla da fotogrametria digital, propondo métodos a serem utilizados em diversos contextos e tipos de amostras, além de soluções para problemas comumente encontrados durante a sua utilização, como problemas associados à precisão e tempo de produção.

Nesse contexto, considerando a precisão dos modelos produzidos, a fotogrametria digital também pode ser utilizada em análises morfológicas, abrindo possibilidades de utilização de tecnologias de visão computacional para análise dos modelos virtuais produzidos, abordagem que tem se mostrado extremamente útil utilizando imagens bidimensionais. Isso possibilita, por exemplo, extrair informações sobre as características de um grande volume de dados de forma precisa e em menor tempo, o que é especialmente útil.

Os diversos modelos já disponíveis também oferecem possibilidades pedagógicas a serem exploradas, enriquecendo o ensino de biologia em espaços formais e informais de educação com recursos visuais interativos e acessíveis, promovendo uma aprendizagem mais envolvente e eficaz. Porém, ainda é preciso explorar estas possibilidades em associação com metodologias pedagógicas que possibilitem um melhor aproveitamento destes recursos.

Em termos de softwares, há diversas opções no mercado, com alguns possuindo licença educacional destinada a instituições, professores e alunos. Além disso, o software livre Meshroom (AliceVision, França) tem apresentado resultados significativos na construção de modelos virtuais, sendo uma opção viável para projetos menores e que não disponham de muitos recursos, apesar destes resultados se mostrarem inferiores em comparação às opções comerciais, como Metashape Professional (Agisoft LLC, São Petersburgo, Rússia).

Softwares adicionais podem ser necessários para se obter melhores resultados na construção do modelo virtual, como editores de imagens para estabelecer uniformidade entre as fotografias em relação aos seus parâmetros e, em alguns casos, softwares de modelagem 3D podem ser necessários para refinar os modelos gerado caso o software fotogramétrico utilizado na sua construção não possua as ferramentas necessárias para isso. Essa consideração ganha relevância, especialmente para pesquisadores sem experiência em fotogrametria digital, que podem não estar cientes desses recursos.

Como já foi esclarecido, apesar de não serem necessárias câmeras profissionais para se obter resultados satisfatórios, um ambiente controlado e o auxílio de suportes físicos (iluminação, suportes de câmera, mesa giratória...) fazem toda a diferença no processo de aquisição de imagens. Além disso, as especificações de câmera para projetos mais complexos (que dependem de mais precisão) dependem de conhecimentos especializados em fotografia. As especificações de hardware (computador) mínimos também não é um tema que traz grandes esclarecimentos na literatura, o que impede maiores considerações.

Apesar do longo caminho a ser percorrido para uma maior popularização da fotogrametria digital nos meios acadêmicos nacionais, acredita-se que alguns espaços tornam-se podem tornar-se fundamentais nesse processo, como a formação inicial, em especial a iniciação científica. A possibilidade de desenvolvimento de projetos de baixo custo e desenvolvimento de protocolos mais acessíveis para produção de modelos 3D de espécimes biológicos possibilitará o desenvolvimento de nossas pesquisas acerca da utilização desses modelos em diversos contextos, como na comunicação científica e no ensino.

Com uma maior popularização, há ainda a possibilidade de se devolver projetos interdisciplinares que busquem superar outras limitações, como a falta de recursos humanos, tempo que pode ser relativamente elevado a depender do tamanho da coleção e a necessidade de importação de equipamentos, o que engajaria equipes que também contasse com programadores ou engenheiros de softwares, conhecimentos em robótica/mecatrônica, em modelagem 3D, designer gráfico, entre outros.

Como pode-se observar, a fotogrametria digital, principalmente aplicada a acervos biológicos, não trata-se de um processo pronto. A busca por meios para uma utilização mais ampla da técnica depende do desenvolvimento de novas pesquisas que explorem, utilizando os recursos disponíveis, as diversas possibilidades de utilização no contexto da Biologia. Portanto, é crucial continuar a investir em pesquisa e desenvolvimento nesta área, visando aprimorar essa tecnologia e ampliar seu impacto positivo nas ciências biológicas.

Por fim, este estudo aponta que, apesar dos desafios atrelados a utilização da fotogrametria, a técnica mostra-se bastante útil para produção e compartilhamento de acervos biológicos digitais, possuindo uma grande versatilidade em termos de tamanho e outras características - apesar de limitada a certas texturas - de espécimes que podem ser digitalizados. Essas características tornam a fotogrametria digital uma ferramenta viável para uma exploração de baixo custo de ferramentas 3D no contexto da Biologia, contribuindo para diversos setores desta área.

## REFERÊNCIAS

- ALEIXO, Francisco *et al.* AragoJ: a free, open source software to aid single camera photogrammetry studies. **Methods In Ecology And Evolution**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. 670-677, 11 mar. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/2041-210x.13376>.
- ALENCASTRO, Yvana Oliveira *et al.* Ferramentas de digitalização 3D faça-você-mesmo na preservação do patrimônio cultural. **Interações**, Campo Grande, Ms, v. 20, n. 2, p. 435-448, 5 maio 2019. Universidade Católica Dom Bosco. <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v0i0.1744>.
- ANGIELCZYK, Kenneth D.; SHEETS, H. David. Investigation of simulated tectonic deformation in fossils using geometric morphometrics. **Paleobiology**. [s.l.], p. 125-148. 2007.
- ARTUSO, Silvia *et al.* Evidence for an evo-devo-derived hypothesis on three-dimensional flower shape modularity in a tropical orchid clade. **Wiley-Blackwell Online Open**, [s.l.], v. 11, n. 76, p. 2587-2604, nov. 22. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9828045/>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- BRASIL. Rádio Senado. Senado Federal do Brasil (org.). **Incêndios mostram urgência na melhoria da preservação de museus**. 2021. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2021/08/02/incendios-mostram-urgencia-na-melhoria-da-preservacao-de-museus>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- BUCCHI, Ana *et al.*. Recommendations for Improving Photo Quality in Close Range Photogrammetry, Exemplified in Hand Bones of Chimpanzees and Gorillas. **International Journal Of Morphology**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 348-355, abr. 2020. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-95022020000200348>.
- CASTRO, Katleen Mahra da Silva Alcântara. **Estudando longe de museus de história natural: efeito dos modelos 3d na aprendizagem e motivação**. 2018. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/9632>. Acesso em: 27 jan. 2024.
- CLAUDE, Julien *et al.* A geometric morphometric assessment of the effects of environment and cladogenesis on the evolution of the turtle shell. **Biological Journal Of The Linnean Society**. [S.L.], p. 485-501. 2003.
- DELORENZO, Leah *et al.* Using 3D-digital photogrammetry to examine scaling of the body axis in burrowing skinks. **Journal Of Morphology**, [s.l.], v. 281, n. 11, p. 1382-1390, 20 ago. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jmor.21253>.
- DIKOVSKI, Bojan *et al.* *Structure from motion obtained from low quality images in indoor environment*. In: *CONFERENCE FOR INFORMATICS AND INFORMATION*

TECHNOLOGY, 10., 2013, Escópia. **Anais [...]** . Escópia, Macedônia: CIIT, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12188/21012>. Acesso em: 07 set. 2023.

DOAN, Thanh-Nghi; NGUYEN, Chuong V.. A low-cost digital 3D insect scanner. **Information Processing In Agriculture**, [s.l.], p. 1-19, 9 mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2023.03.003>.

DZIOMBER, Laura; JOYCE, Walter G.; FOTH, Christian. The ecomorphology of the shell of extant turtles and its applications for fossil turtles. *Peerj*, [s.l.], v. 8, p. 10490-10525, 22 dez. 2020. **PeerJ**. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.10490>. Disponível em: <https://peerj.com/articles/10490/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

FLOR, Tainá de Oliveira *et al.* REVISÕES DE LITERATURA COMO MÉTODOS DE PESQUISA: aproximações e divergências. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 2022, Campina Grande. Anais [...]* . Campina Grande: CONAPESC, 2022. p. 1-12. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/76913>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FLYNN, Thomas. What Happens When You Share 3D Models Online (In 3D)? *In: GRAYBURN, Jennifer et al. 3D/VR in the Academic Library: emerging practices and trends*. Arlington, Virgínia, Eua: Council On Library And Information Resources, 2019. Cap. 5. p. 73-86.

GRIMM, Kreuztal. The Origin of the Term Photogrammetry. **ISPRS Archives**, [s.l.], p. 53-60, 1980. Disponível em: <https://www.isprs.org/society/history/grimm-the-origin-of-the-term-photogrammetry.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

HIDALGA, Abraham N. *et al.* **Rapid 3D Capture Methods in Biological Collections and Related Fields**. [s.l.]: Icedig, 2019. 46 p. Disponível em: <https://know.dissco.eu/handle/item/89>. Acesso em: 24 jan. 2023.

HSU, Hao-Chun; CHOU, Wen-Chieh; KUO, Yan-Fu. 3D revelation of phenotypic variation, evolutionary allometry, and ancestral states of corolla shape: a case study of clade corytholoma (subtribe ligeriinae, family gesneriaceae). **Gigascience**. [s.l.], p. 1-16. 01 jan. 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/gigascience/article/9/1/giz155/5713531>. Acesso em: 27 jan. 2024.

IRSCHICK, Duncan J. *et al.* Creation of accurate 3D models of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) using 3D photogrammetry. **Marine Mammal Science**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 482-491, 11 nov. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/mms.12759>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mms.12759>. Acesso em: 03 fev. 2024.

JESÚS-LUIS, Alonso S. *et al.* Fotogrametría: cómo crear modelos tridimensionales de bajo costo, con características realistas y fácil manipulación, para su uso en la enseñanza y el diagnóstico médico. **Investigación En Educación Médica**, [s.l.], n.

32, p. 100-111, 17 out. 2019. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.  
<http://dx.doi.org/10.22201/facmed.20075057e.2019.32.18157>.

KANO, Yuichi. Bio-photogrammetry: digitally archiving coloured 3d morphology data of creatures and associated challenges. **Research Ideas And Outcomes**, [s.l.], v. 8, n. 86985, p. 01-08, 8 ago. 2022. Pensoft Publishers.  
<http://dx.doi.org/10.3897/rio.8.e86985>. Disponível em:  
<https://riojournal.com/article/86985/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

LAVAQUIOL, Bernat *et al.* A photogrammetry-based methodology to obtain accurate digital ground-truth of leafless fruit trees. **Computers And Electronics In Agriculture**, [s.l.], v. 106553, n. 19, p. 1-9, 19 nov. 2021. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921005706?via%3Dihub>. Acesso em: 03 fev. 2024.

LEIJA-ROMÁN, David Alonso; VALLE-CHAVARRÍA, Lorena Gertrudis; MONTES-ROJAS, Ma. Luisa. Fotogrametría como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonio tangible. **Revista General de Información y Documentación**, [s.l.], v. 2, n. 32, p. 325-342, 12 dez. 2022.

LEMÉNAGER, Marion *et al.* Studying flowers in 3D using photogrammetry. **New Phytologist**, [s.l.], v. 237, n. 5, p. 1922-1933, 25 nov. 2022. Wiley.  
<http://dx.doi.org/10.1111/nph.18553>.

LISCHER-KATZ, Zack. 3D/VR Creation and Curation: An Emerging Field of Inquiry *In: GRAYBURN, Jennifer et al.* **3D/VR in the Academic Library**: emerging practices and trends. Arlington, Virgínia, Eua: Council On Library And Information Resources, 2019. Cap. 1. p. 01-11.

LOBO, L. S.; GRILLO, O. N.; AZEVEDO, S. A. K. de. **Morphology, Pandemic, and 3D**. *Arquivos de Zoologia*, v. 52, n. 2, p. 33-40, 2021. Disponível em:  
<https://doi.org/10.11606/2176-7793/2021.52.02>. Acesso em: 24 jan. 2023.

MARTÍN, Iría Groba; MANRIQUE, Pedro Terrón. Patrimonio Escultórico de la Facultad de Bellas Artes de la UCM. La fotogrametría como método de registro y digitalización. **Tercio Creciente**, [s.l.], p. 31-50, out. 2020. Disponível em:  
<https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/RTC/article/view/5759>. Acesso em: 26 out. 2023.

MEDINA, Joshua J. *et al.* A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry. **Plos One**, [s.l.], v. 15, n. 8, p. 01-14, 13 ago. 2020. Public Library of Science (PLoS).  
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0236417>. Disponível em:  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0236417>. Acesso em: 03 fev. 2024.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Técnicas de análise do material qualitativo. *In: MINAYO, Maria Cecília de Souza.* **O Desafio do Conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec Editora, 2014. Cap. 11. p. 303-360.

MORAN, José (org.). Metodologias ativas e modelos híbridos na educação. *In*: YATEGASHI, Solange (org.). **Novas Tecnologias Digitais**:: reflexões sobre mediação, aprendizagem e desenvolvimento. Curitiba: Crv, 2017. p. 23-35. Disponível em: [https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2018/03/Metodologias\\_Ativas.pdf](https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2018/03/Metodologias_Ativas.pdf). Acesso em: 28 maio 2024.

MORGAN, Brianne; FORD, Andrew L.J.; SMITH, Martin J.. Standard methods for creating digital skeletal models using structure-from-motion photogrammetry. **American Journal Of Physical Anthropology**, [s.l.], v. 169, n. 1, p. 152-160, 19 fev. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ajpa.23803>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajpa.23803>. Acesso em: 03 fev. 2024.

MORO, Luis Alejandro Fonseca; PAVÓN, José Luis Pérez. Study for the documentation of an engraving of Siega Verde (Salamanca, Spain) by low-cost photogrammetry with a mobile phone. **Digital Applications In Archaeology And Cultural Heritage**, [s.l.], v. 21, p. 1-8, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00187>

MOURA, Cleberson Henrique de *et al.* Digitalização do Patrimônio Cultural: uma conversa com Carolina Machado Guedes. **Semina: Revista dos Pós-Graduandos em História da UPF, Passo Fundo**, v. 20, n. 3, p. 195-205, 27 dez. 2021. UPF Editora. <http://dx.doi.org/10.5335/srph.v20i3.13147>.

NOROUZZADEH, Mohammad Sadegh *et al.* Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 115, n. 25, p. 5716-5725, 5 jun. 2018. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1719367115>. Disponível em: <http://aurora.auburn.edu//handle/11200/49919>. Acesso em: 10 ago. 2023.

OCDE. **Final Report of the OECD Megascience Forum**: working group on biological informatics. [s.l.]: OCDE, 1999. 72 p. Disponível em: <https://www.oecd.org/science/inno/2105199.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

OTERO, Alejandro *et al.* Three-dimensional image surface acquisition in vertebrate paleontology:: a review of principal techniques. **Publicación Electrónica de La Asociación Paleontológica Argentina**, Buenos Aires, Ar, v. 1, n. 20, p. 1-14, abr. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.04.04.2020.310>. Acesso em: 26 jan. 2023.

PALESTINI, C.; BASSO, A.. LOW-COST TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATIONS RELATED TO INTEGRATED APPLICATION EXPERIMENTS. **The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**,, Strasbourg, Fr, v. 52, n. 17, p. 241-248, 2019.

REICH, Dieter *et al.* Modularity and evolution of flower shape:: the role of function, development, and spandrels in erica. **New Phytologist**, [s.l.], v. 1, n. 226, p. 267-280, 08 jan. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7065081/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

RONCAGLIO, Vanina; CRISOSTIMO, Ana Lucia; STANGE, Carlos Eduardo Bittencourt. Construção de modelos didáticos em 3D: um relato de experiência junto a alunos do ensino médio. *In*: KOBELINSKI, Michel; GREIN, Everton (ed.). **Ensino & Pesquisa**: revista multidisciplinar de licenciatura e formação docente. União da Vitória: Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), 2020. p. 150-163. Disponível em: <https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/ensinoepesquisa/article/view/3825>. Acesso em: 27 jan. 2024.

ROSCIAN, Marjorie *et al.* Underwater photogrammetry for close-range 3D imaging of dry-sensitive objects: the case study of cephalopod beaks. **Ecology And Evolution**, [s.l.], v. 11, n. 12, p. 7730-7742, 3 maio 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.7607>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.7607>. Acesso em: 03 fev. 2024.

SILVA, Daniel Carneiro da. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Rev. Bras. Geom.**, Pato Branco, Pr, v. 3, n. 2, p. 81-96, dez. 2015.

STARK, Erich; HAFFNER, Oto; KUCERA, Erik. Low-Cost Method for 3D Body Measurement Based on Photogrammetry Using Smartphone. **Electronics**, [s.l.], v. 11, n. 1048, p. 1-16, mar. 2022.

SUNVITTAYAKUL, Pongsakorn *et al.* Cassava root crown phenotyping using three-dimension (3D) multi-view stereo reconstruction. **Scientific Reports**, s.l., v. 12, n. 1, p. 01-14, 15 jun. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-14325-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-14325-4>. Acesso em: 03 fev. 2024.

TOMMASELLI, Antonio M. G.. Introdução. *In*: TOMMASELLI, Antonio M. G.. **Fotogrametria Básica**. [s.l.]: [S.N.], 2009. Cap. 1. p. 1-14. Disponível em: [http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/891/introducao\\_a\\_fotogrametria.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf). Acesso em: 28 maio 2023.

ZAPATA, Carlos Pérez; MEDINA, Jose Antonio López. Estudio comparativo entre softwares fotogramétricos basados en distintos sistemas: geométrico e informático. **Anales de Edificación**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 100-106, 31 ago. 2020. Universidad Politécnica de Madrid - University Library. <http://dx.doi.org/10.20868/ade.2020.4501>.