

AVALIAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO 3D VIA APLICATIVOS MÓVEIS

EVALUATION OF 3D DIGITIZATION VIA MOBILE APPS

Santos, Allan Giovanni; Eng.; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
(allan.santos@ufrgs.br)

Silva, Fábio Pinto; Dr. Eng.; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
(fabio.silva@ufrgs.br)

Resumo

Este trabalho avalia a digitalização tridimensional (3D) de cinco objetos, utilizando os quatro aplicativos (apps) melhores avaliados, dentre os nove principais disponíveis, por meio de dois dispositivos móveis Android, comparando os resultados com o escâner profissional Artec 3D EVA. O objetivo é validar a qualidade virtual dos objetos adquiridos e a eficácia dos aplicativos, com ênfase nas funcionalidades gratuitas e na exportação de malhas. Testes preliminares foram realizados com 30, 90 e 120 fotos com câmeras de telefones intermediários de 50 e 108 megapixels, durante o primeiro trimestre de 2024. O app Polycam mostrou textura adequada, apesar da resolução inferior comparada ao dispositivo profissional, sendo o único a exportar a malha gratuitamente. O melhor resultado foi alcançado com 180 fotos de um objeto, com 45.000 lux, em dias de sol entre nuvens, usando o aplicativo Polycam.

Palavras-Chave: Digitalização 3D; Aplicativos móveis; Malhas virtuais.

Abstract

This work evaluates the three-dimensional (3D) digitization of five objects using the top-rated four apps out of nine major ones available on two Android mobile devices, comparing the results with the professional scanner Artec 3D EVA. The aim is to validate the virtual quality of the objects and the effectiveness of the apps, emphasizing free functionalities and mesh exporting. Preliminary tests were conducted using 30, 90, and 120 photos with cameras from mid-range phones of 50 and 108 megapixels during the first quarter of 2024. The Polycam app exhibited adequate texture despite qualitatively lower resolution compared to the professional device, and it was the only one to export the mesh for free. The best outcome was achieved with 180 photos of a model at 45,000 lux on partly cloudy sunny days using the Polycam app.

Keywords: 3D scanning; Mobile applications; Virtual meshes.

1. Introdução

A difusão das tecnologias 3D e o crescente interesse por análises de superfícies virtuais destacam a digitalização como uma ferramenta crucial no design. Este processo não só beneficia a comunidade acadêmica, mas também possui aplicações amplas que beneficiam a sociedade como um todo. A digitalização 3D converte um objeto físico em formatos digitais, viabilizando inclusive a sua impressão 3D, para materialização física (Bortoleto e Sampaio, 2022). Enquanto a modelagem 3D, seja manual ou digital, requer habilidades e tempo significativo (Ferreira *et al.*, 2015), otimizar esse processo é essencial. Por isso, a utilização de fotogrametria para escaneamento 3D, ou seja, "medir graficamente usando luz" (Tommaselli, 1999), utilizando os dispositivos móveis para

fotografar os objetos, mostra-se uma abordagem adequada. Isto não apenas economiza tempo, mas também simplifica o processamento das imagens no meio digital, permitindo definir formas e posições com alto realismo (Struck, 2019). Lipson e Kurman (2013) mencionam que avanços tecnológicos ocorrem com pessoas comuns que utilizam novas ferramentas para resolver problemas cotidianos. Isso corrobora o pensamento de Cerqueira (2020), que observa os avanços dos últimos anos na capacidade de processamento e na resolução das câmeras fotográficas, além da disponibilidade de *softwares* em praticamente todos os telefones.

Diante dos problemas e das dificuldades na criação de objetos em 3D, e da demora associada ao processo de modelagem digital, tem-se explorado aplicações das tecnologias 3D que oferecem alternativas para aquisição de dados. Essas tecnologias permitem transformar objetos reais em malhas virtuais, agilizando a fabricação digital do produto final, conforme Silva (2006). Especificamente, a fotogrametria é uma técnica de digitalização 3D útil em diversas áreas, incluindo a preservação de acervos museológicos, a criação de personagens de filmes ou jogos, e a proteção das obras de artistas e escultores. Além disso, essas tecnologias têm aplicações variadas, como geração de dados para registros históricos, inspeções de qualidade, comparação com padrões virtuais, criação de dados para animações, adaptações personalizadas e arte-final.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a digitalização 3D de aplicativos, comparar com um escâner de alta resolução e validar a qualidade dos objetos virtuais. Como objetivos específicos pretende-se: (a) pesquisar e escolher os aplicativos na *Google Play Store*; (b) analisar as informações dos fabricantes e usuários; (c) testar a usabilidade dos apps; (d) comparar os resultados obtidos; (e) selecionar um app para exportar a malha, priorizando versões gratuitas. Para a comparação dos resultados foram utilizados os seguintes quesitos: (i) precisão da geometria; (ii) condição da malha; (iii) aspecto da textura; e (iv) fidelidade da cor.

O foco deste estudo é justificado pela praticidade dos aplicativos de captura de imagens, que agilizam o processo de modelagem 3D de objetos reais. Isto possibilita a modelagem e simulação de materiais, ampliando o processo criativo para alcançar melhores resultados. Além disso, permite salvar o modelo virtualmente, criar movimentos ou simulações de carga, expor em galerias de realidade virtual e realizar modificações digitais no modelo. Optou-se por dispositivos móveis Android devido à facilidade de acesso pelos autores e ao fato de que aproximadamente 70% dos telefones utilizam essa plataforma (Gonçalves, 2023). Com as tecnologias recentes dos dispositivos móveis e ferramentas de edição avançadas, acessíveis à sociedade, incluindo opções gratuitas, é possível aproveitar o atual poder de processamento dos equipamentos.

Supõe-se as seguintes hipóteses para as necessidades, especificações técnicas e utilização de recursos auxiliares visando aprimorar resultados e distinguir os materiais.

- (i) Fundo-base com marcação especial;
- (ii) Base giratória auxiliar para rotação controlada durante as capturas;
- (iii) Suporte para telefone para manter posições estáveis;
- (iv) Cenário fotográfico apropriado;
- (v) Luz artificial, pontos de iluminação e sombras;
- (vi) Luz natural e variações de intensidade;
- (vii) Captura de 30 a 120 fotos por objeto;
- (viii) Edição no app;
- (ix) Resolução adequada para texturas.

Essas diretrizes fornecem um conjunto claro de orientações que direcionam o estudo em direção a uma pesquisa detalhada e eficaz na área da digitalização 3D, visando alcançar resultados precisos e de alta qualidade ao longo do processo de investigação.

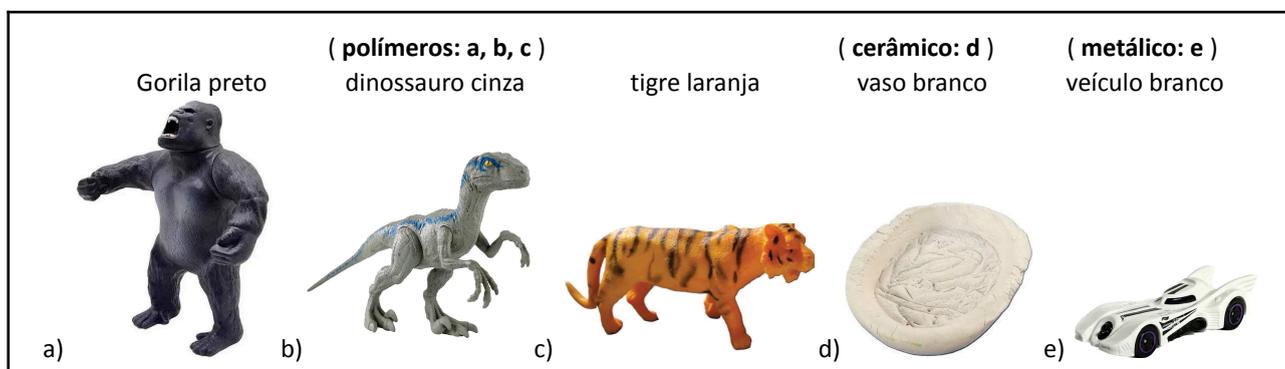
Como delimitações, não se pretende comparar sistemas de digitalização quanto às suas classificações, como métodos passivos por fotogrametria ou ativos por luz estruturada. O foco será verificar apenas a proximidade do aplicativo com a dimensão real do objeto, conforme segue:

- i) Restringir-se a aplicativos para dispositivos Android;
- ii) Priorizar a captura por fotos em vez de vídeos nos aplicativos;
- iii) Não considerar a resolução dos escâneres, dado que os resultados podem variar conforme a câmera, processamento e controle de foco de cada dispositivo;
- iv) Utilizar apenas funcionalidades gratuitas dos aplicativos;
- v) Considerar aspectos visuais qualitativos;
- vi) Processamento de um dos objetos, com melhor resultado, da digitalização do app.

Com tais delimitações garante-se um escopo claro e específico para o estudo, não focando na avaliação da precisão e ou desempenho dos aplicativos, mas sim no resultado final do objeto exportado.

No contexto exposto, esta pesquisa foi organizada para, inicialmente, detalhar os processos de aquisição de imagens e compreender os aplicativos, por meio de uma investigação teórica. Posteriormente, pretende-se aplicar processos, métodos e ferramentas para uma comparação qualitativa dos objetos, tomando como base o estudo realizado por Dantas (2016). Para tanto, foram analisados os objetos ilustrados na Figura 1, que consistem principalmente em personagens animais da natureza de geometria complexa, além de outros objetos fabricados, todos exibindo uma variedade de cores, texturas e materiais, distintos por suas diferentes formas, volumes e dimensões. Os objetos da Figura 1 foram utilizados nos testes: (a) gorila preto e cinza em polímero, PVC (policloreto de vinila), medindo (XYZ) 20 x 7 x 24 cm (centímetros); (b) dinossauro cinza e azul em PVC, com dimensões 36 x 4 x 19 cm; (c) tigre laranja e preto em PVC, de tamanho 17,5 x 3,5 x 8 cm; (d) vaso branco em cerâmica, medindo 7,3 x 10,4 x 2,2 cm e com 1 cm de espessura; (e) veículo branco e preto em metal, com dimensões 8 x 3,5 x 2,5 cm.

Figura 1: Objetos naturais, geométricos e seus materiais.



Fonte: Autores, 2024.

Conforme exposto, antes de iniciar a experimentação de fato, é apresentado o referencial teórico que norteou a investigação.

2. Referencial Teórico

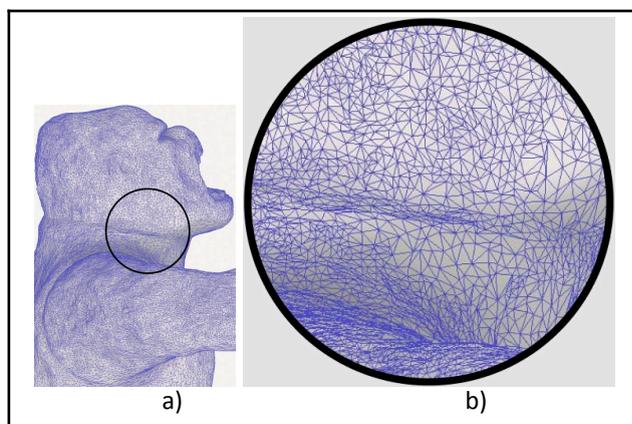
A abordagem teórica fundamenta os conceitos que enfatizam a importância e compreensão do uso das ferramentas de digitalização 3D e fotografia. Elaborou-se um referencial teórico com conceitos da literatura para uma aplicação prática ao longo deste estudo.

2.1. Digitalização 3D

A digitalização 3D compreende diferentes etapas para capturar a imagem de um objeto específico e representá-lo em meio digital. Durante esse processo, características como cor aparente e comportamento de refletância podem ser obtidas (Bernardini; Rushmeier, 2002). A maioria das técnicas envolve a realização de uma varredura que mede as coordenadas (X, Y, Z) dos pontos no espaço utilizando triangulação para escanear o objeto estudado e criar um mapeamento que resulta na formação de uma malha tridimensional (Duarte *et al.*, 2021). Após a obtenção desses resultados, o objeto digitalizado é convertido em um modelo 3D (Araujo *et al.*, 2021).

Para Dantas *et al.* (2016) os dados primários provenientes de uma digitalização 3D são chamados de nuvem de pontos, que consistem em um conjunto de pontos em coordenadas (XYZ) distribuídos no espaço, podendo incluir informações adicionais, como cor (RGB). Essa estrutura pode ser unida formando uma malha, como o aramado apresentado do *software 3D Builder* (Softonic, 2024), conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Visualização da malha virtual.



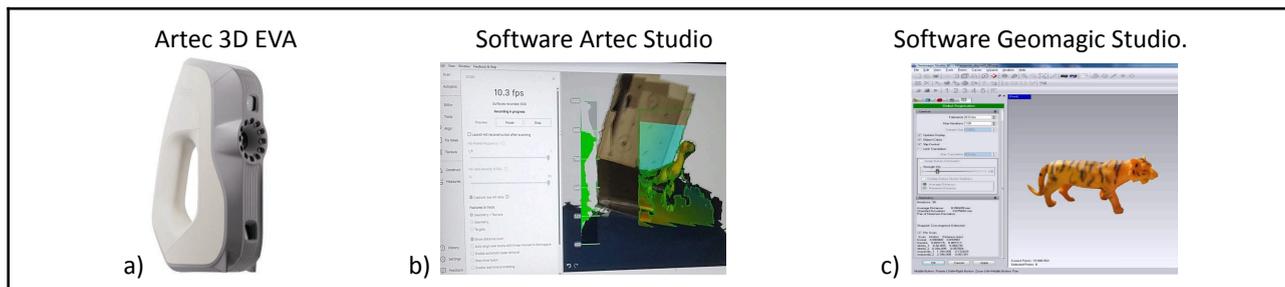
Fonte: Autores, 2024.

Os principais formatos de arquivos usados para armazenar malhas poligonais 3D, incluem o STL (STereoLithography), acrônimo para estereolitografia (Silva, 2006). além de formatos como OBJ, 3MF, GLB e GLTF. Esses formatos podem ser facilmente convertidos para STL usando o *software 3D Builder* (Softonic, 2024) no Windows.

O equipamento Artec 3D EVA (Figura 3a) é um escâner portátil que utiliza luz estruturada branca para projetar padrões sobre o objeto. Com suas câmeras, captura a deformação desses padrões na superfície, gerando uma nuvem de pontos ou uma malha 3D. Além disso, emprega outros sensores para captação de cores RGB, para registrar cores nos pontos do espaço (Silva, 2006). O Artec EVA possui precisão de até 0,1 mm (milímetro), sua distância de trabalho ou captura é de 40 a 100 cm, comportando objetos de pequeno a de médio porte, com 16 quadros

por segundo e pesando 0,9 kg (Artec 3d, 2024). Com auxílio de um notebook e um *software* de processamento, como o *Artec Studio Professional 17* (Figura 3b), o escâner gera os dados e pode corrigir ruídos e distorções nas malhas. Ele também captura texturas e as transporta para uma malha de triângulos planos, podendo exportá-las para formatos como OBJ ou STL. Edições mais avançadas podem ser realizadas utilizando softwares mais específicos para digitalização 3D, como o *Geomagic Studio* (Figura 3c).

Figura 3 - Equipamento de escâner e *softwares* de visualização de malhas.



Fonte: autores, 2024.

Já os apps móveis utilizam a fotogrametria, uma tecnologia para medição de objetos que gera um mapeamento completo do mesmo, obtendo medições precisas e informações tridimensionais a partir de imagens bidimensionais. A fotogrametria é uma alternativa de baixo custo para escaneamento 3D e é uma ferramenta essencial para diversas áreas de pesquisa (Brendler et al., 2016). Os sistemas de digitalização por fotogrametria possuem recursos e algoritmos para processamento das imagens, onde o *software* faz o reconhecimento de pontos homólogos entre as fotos e calcula uma nuvem de pontos do objeto (Silva, 2011). Para obter resultados otimizados da fotogrametria, faz-se necessário o conhecimento de técnicas fotográficas.

2.2. Técnicas fotográficas

A fotografia baseia-se em três elementos fundamentais: luz, que controla as variações do clima, natural ou artificial), objeto e composição. Na fotografia profissional, diversos controles são utilizados: o ISO determina a sensibilidade do sensor à luz, a abertura controla a quantidade de luz passante na lente, e velocidade do obturador relaciona a luz que entra na câmera. A profundidade de campo relaciona-se à quantidade de foco (Ramalho, 2004). Todo esse processo é controlado por meio de algoritmos internos dos dispositivos móveis, sendo permitido apenas melhorar a quantidade de iluminação no objeto. Na fotografia artística utiliza a técnica de iluminação de três pontos: (a) luz principal, (b) luz de preenchimento e (c) contraluz, para realçar volumes, como silhuetas (Moura, 2018). A iluminação principal, utilizada para as digitalizações, segue uma técnica similar à da fotografia artística, com luz frontal posicionada de forma a iluminar três quartos do objeto. Isso preserva a superfície frontal do objeto enquanto cria sombras leves abaixo dele.

Considera-se ser apropriado fotografar em um dia com sol entre nuvens, aproveitando a boa incidência luminosa, de aproximadamente 45 mil lux, sem sofrer alterações cromáticas da incidência direta do sol. Considerando um dia ensolarado típico durante o verão em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, a intensidade luminosa varia de aproximadamente 18 mil lux na sombra até 260 mil lux diretamente sob o sol. Sendo que a luz natural, adequada para fotografia, costuma variar

entre 4.500 a 65.000 lux, com intensidades de 30 a 65 mil lux em dias nublados, conforme considerações de Phil (2019), sintetizadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Níveis de iluminação

Condições (dia)	Lux (lux)
Ensolarado	100.000
Plena luz	10.000
Nublado	1.000
Escuro	100

Fonte: Adaptado de Phil, 2019.

3. Metodologia

Utilizou-se um estudo de caso para coleta de dados, que é caracterizado pela investigação detalhada de um determinado assunto ou área do conhecimento, proporcionando um aprendizado amplo e minucioso (Gil, 2017). Segundo Yin (2010), esta abordagem de pesquisa explora extensivamente um tema específico, aprofundando sua análise e fomentando novas descobertas e suposições sobre o assunto.

A pesquisa foi realizada no primeiro trimestre de 2024, envolvendo a análise dos aplicativos, o processamento das digitalizações e a análise dos resultados. Foram utilizados dois modelos intermediários de telefones da marca Motorola, conforme descrito no Quadro 1, com preços variando de R\$ 2.000 ± R\$ 650 (a) e R\$ 1.350 ± R\$ 275 (b). Ambos apresentavam, no momento da pesquisa, bons processadores para os padrões atuais e qualidade de câmera com sensores de no mínimo 50 megapixels (MP) e tecnologia Ultrapixel, que visa melhorar a qualidade da captura de luz, melhorando o desempenho em condições de pouca luz.

Quadro 1 - Câmeras dos telefones.

<p>Motorola G60 2021/2</p>  <p>a)</p>	<p>Processador Qualcomm Snapdragon 732G e 6 GB de RAM</p> <p>Sensor da câmera: 108 MP Versão 9.0.18.68 Android 12</p> <p>Resolução: 12.000 x 9.000 pixels</p>	<p>Motorola G52 5G 2022/2</p>  <p>b)</p>	<p>Processador Snapdragon 480 Plus Qualcomm e 4 GB de RAM</p> <p>Sensor da câmera: 50 MP Versão 9.0.68.55 Android 13</p> <p>Resolução: 8.165 x 6.124 pixels</p>
---	---	---	---

Fonte: Autores, 2024.

Para discutir e apresentar os resultados, foram seguidas oito etapas: (1) escolha dos aplicativos; (2) seleção dos objetos; (3) montagem dos aparatos e testes; (4) digitalizar com escâner profissional de referência; (5) aquisição das imagens pelos smartphones; (6) processos de exportação dos apps; (7) comparações; (8) e pós-tratamento dos dados.

Para a seleção dos aplicativos para digitalização 3D, foi realizada uma busca em apps para smartphone Android na *Google Play Store* (Tabela 1), e foram adotados 9 critérios e pesos (%), a saber: (i) busca: “escâner 3d” e “scanner 3d”, (20%); (ii) versão do app, (5%); (iii) atualização, (15%); (iv) nota/estrelas, (25%); (v) avaliações, (10%); (vi) número de downloads, (10%); (vii) versão do Android (5%); (viii) data de lançamento, (5%); e (ix) tamanho do app, (5%). Assim, foram selecionados 9 aplicativos, na seguinte escala de critérios (1-ruim, 2-regular, 3-bom, 4-ótimo, 5-Excelente), e, por fim, escolhidos os 5 com mais destaque. Esses foram testados no presente estudo, utilizando os objetos já listados na Figura 1, conforme será abordado a seguir.

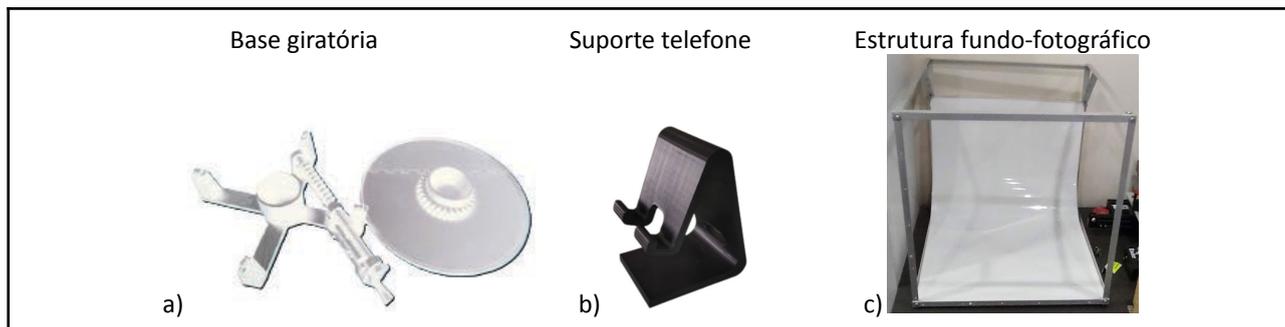
Tabela 1 - Avaliação dos aplicativos

Critérios (9 argumentos)		Notas (avaliação dos autores: 1 - 5)									
#	Tipos	Peso (%)	Qlone	RealityScan	xOne	Widar	MagiScan	Kiri	Revo Scan	Polycam	3DScanner
1	Pesquisa app	0,20	5	4	5	5	2	5	3	5	0
			3.16.1	1.3.1	4.0.0	4.1.0	1.8.4	3.4.1	5.2.4	1.2.0	1.0
2	Versão	0,05	4	2	5	5	3	4	5	2	1
			6dez.2023	11dez.2023	28nov.2023	14set.2023	29nov.2023	14dez.2023	20dez.2023	13dez.2023	16jun.2023
3	Atualização	0,15	4	4	3	2	3	4	5	4	1
4	Nota (5 Estrelas)	0,25	2,8	4,3	3,6	4,6	3,9	4,5	1	4,7	3,7
			157	832	300	2 mil	4 mil	1 mil	-	15 mil	177
5	Avaliações	0,10	1	2	1	3	4	2	1	5	1
			1 mil	50 mil	100 mil	100 mil	500 mil	100 mil	50 mil	1 milhão	10 mil
6	Downloads	0,10	1	3	4	4	5	4	3	5	2
			Android +7	Android +7	Android +8	Android +10	Android +8	Android +7	Android +7	Android +8	Android +5
7	Versão do Adroid	0,05	4	4	3	2	3	4	4	3	5
			30mar.2021	8jun.2023	7mar.2022	16mar.2022	10jul.2022	18mar.2023	26mar.2022	9abr.2022	9jul.2022
8	Lançamento	0,05	1	5	3	3	4	5	3	3	4
			5.2MB	5.2MB	52,48/112MB	52,47/121MB	83,95MB	110/172MB	60MB	25/46MB /429MB	11MB
9	Tamanho App	0,05	1	1	5	5	4	5	3	5	2
Nota Escolha do App (Média Ponderada: 1-5)		1,0	3,00	3,58	3,65	3,90	3,43	4,23	2,75	4,43	1,98

Fonte: Autores, 2024.

Os equipamentos auxiliares utilizados incluíram uma base giratória (Figura 4a), projetada para padronizar o número de fotos para cada objeto, com o eixo do mecanismo de manivela rotacionado em 360 graus permitindo capturar 30 fotos por volta. Além disso, foi empregado um suporte para telefone (Figura 4b) para manter as posições consistentes. Por fim, um fundo fotográfico (Figura 4c) foi utilizado para criar um ambiente controlado e neutro ao redor do objeto. Todos os dispositivos utilizados estão disponíveis no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) da UFRGS.

Figura 4: Estruturas de apoio para fotografias.



Fonte: Autores, 2024.

Para referência na iluminação, foi utilizado o aplicativo Medidor de luz (Quadro 2), que mede a intensidade de luz digitalmente funcionando como um luxímetro para Android. Mesmo que não possua alta precisão, ele pode diferenciar cenários melhores ou piores ao medir a iluminância em lux, conforme apontado por Cerqueira, 2020.

Quadro 2 - Medidor de luz

<p>Medidor de luz</p> 	<p>Medidor de luz (do inglês Lux Meter), da Coolerxp. Versão 1.7; Atualização 18dez2023; 4,9 em 7 mil avaliações; mais de 500 mil Downloads; Android 4.4 ou mais recentes; Lançado: out2022; tamanho 61,4MB oferecido por Coolerxp.</p>
--	---

Fonte: Google Play Store, 2024.

Outro ponto importante foi fazer uma marca nas junções das articulações dos personagens para mantê-los sempre na mesma posição, facilitando a digitalização e evitando que as partes se movam durante a comparação com o escâner comercial. Foram realizados alguns ensaios, testando-se a rotação do objeto com a câmera posicionada fixamente e com a base giratória, garantindo sempre o mesmo enquadramento (Figura 5).

Figura 5 - Enquadramento do objeto e exemplo de 30 imagens em 360°.



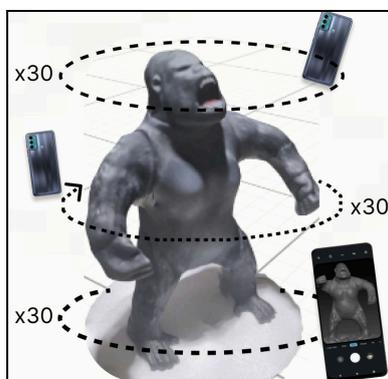
Fonte: Autores, 2024.

Nos aplicativos, também foi buscado manter a mesma proporção das fotos acima (Figura 5), mantendo o objeto estático e girando a câmera do telefone. Utilizou-se luz natural e foram

selecionados os mesmos requisitos das fotos, com no mínimo 30 fotos por região, para gerar malhas dos aplicativos e compará-las com o scanner Artec EVA.

Optou-se por uma proporção 3:4 de captura, utilizando arquivo JPG em modo foto, com flash, HDR, inteligência artificial e temporizador desativados. A especificação exata de cada algoritmo dos aplicativos não pôde ser identificada. Buscou-se padronizar a quantidade de fotografias para que todos os aplicativos pudessem usá-las, capturando 30 fotos por região e realizando 3 voltas em cada região (baixo, médio e alto), totalizando 90 capturas (Figura 6). As escolhas são imperativas na identificação de componentes-chave, segundo Kilian (2009), resultando em diversas variedades de elementos a serem explorados, permitindo chegar a diferentes resultados.

Figura 6 - Orientação fotográfica inicial.



Fonte: Autores, 2024.

No processo de digitalização 3D do equipamento Artec Eva, o scanner profissional utilizado para comparação, foi possível girar a peça para melhorar o registro de partes de difícil acesso. Durante a aquisição das imagens, foi necessário acompanhar em uma tela auxiliar de notebook para verificar a distância e o foco de maneira simples, identificando possíveis erros no fechamentos de malhas. Neste momento, o processamento real não ocorre; apenas os registros são armazenados para serem processados posteriormente em um computador *desktop* mais robusto, configurado da seguinte maneira:

- Processador Intel Core i9 13900F 2.0GHz;
- 128 GB de memória RAM;
- GPU NVidia Geforce RTX 4070 de 8 GB GDDR6X;
- SSD m2 500 GB.

Desta forma, utilizou-se uma abordagem qualitativa relativa aos aspectos visuais do produto, de acordo com a experiência do grupo de pesquisa na área de digitalização 3D. A fase exploratória da pesquisa é de natureza aplicada e visa criar uma representação digital tridimensional de um objeto, com o intuito de gerar novos conhecimentos para facilitar o desenvolvimento de processos e produtos, conforme proposto por Gil (2017).

4. Resultados e Discussões

Ao todo, foram realizadas 5 digitalizações dos objetos no Artec EVA, e outras 20 em 4 aplicativos escolhidos, mas selecionou-se apenas o de maior complexidade na malha para

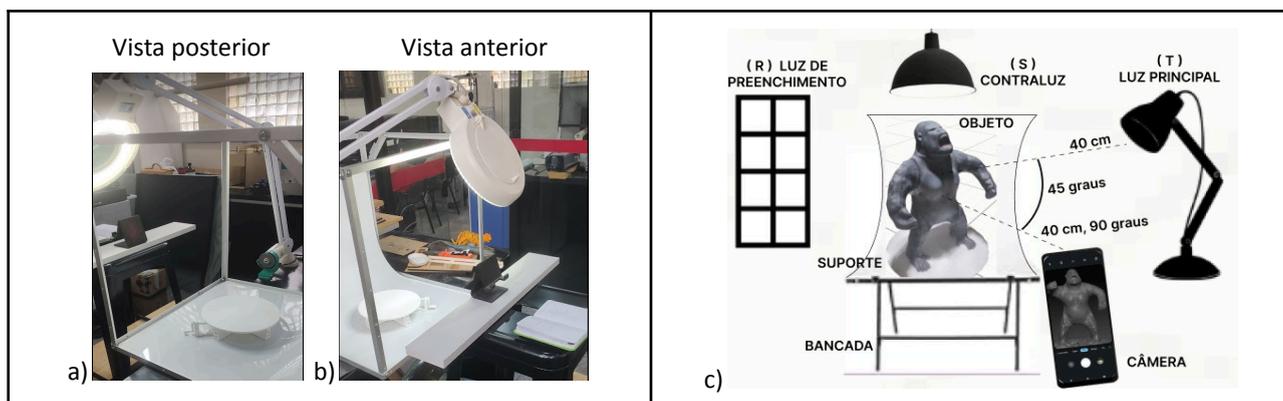
comparação final, o gorila. A atividade em estudo foi conduzida com base nas premissas abordadas e na metodologia escolhida, estabelecendo diretrizes para as decisões e padronizando o processo em todas as etapas, concluindo com análises e pós-tratamento dos dados.

Conforme exposto, foram selecionados personagens por apresentarem pintura simples, formatos distintos e texturas com complexidade adequada, além de cores contrastantes para facilitar a análise posterior. Optou-se por amostras de elementos da natureza, incluindo animais de diversos tamanhos e outros objetos com características distintas, para garantir a diferenciação na qualidade das digitalizações. Todos os objetos foram utilizados para selecionar o melhor aplicativo, mas optou-se por apresentar a análise de apenas um dos objetos, devido às suas complexidades. Assim, o gorila foi escolhido por causa de sua textura, que possivelmente influenciaria no melhor resultado da digitalização 3D.

4.1. Montagem dos aparatos e testes

Utilizou-se uma base giratória impressa 3D de um arquivo do site *thingiverse.com* e filamento PLA. A Figura 7a apresenta a vista posterior e a Figura 7b a vista anterior dos equipamentos auxiliares utilizados na digitalização, que incluem o quadro com fundo curvo (Figura 7c) para composição e um braço articulado com LED de 5W. A iluminação desempenha um papel crucial neste artigo, podendo ser natural, com atenção para variações na nebulosidade, ou artificial, proporcionando maior estabilidade, embora com menor intensidade. Utilizou-se a técnica fotográfica de iluminação de três pontos na Figura 7c: (T) luz principal com luminária articulável de bancada posicionada frontalmente; (R) luz de preenchimento através de tijolos de vidros (iluminação natural), realçando volumes lateralmente; e (S) contraluz com luminária pendente na parte superior, utilizando ângulos e distâncias de aquisição das fotos representados a seguir.

Figura 7 - Equipamentos e iluminação



Fonte: Autores, 2024.

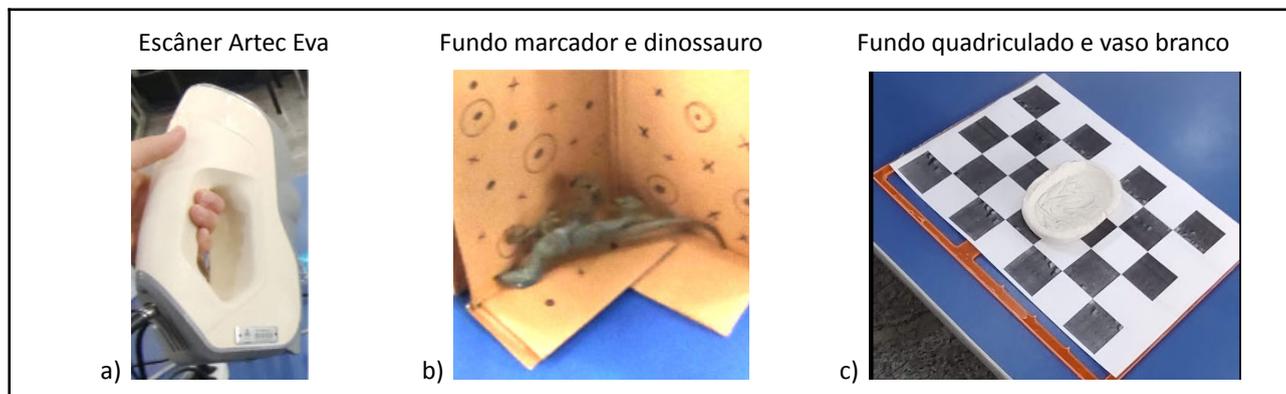
A iluminação do laboratório LDSM, no local das capturas das imagens (Figura 7c), foi configurada da seguinte forma: (T) a luz principal posicionada frontalmente a cerca de 45 graus, a uma distância de 40 cm, proporcionando 2.180 lux; (R) a luz de preenchimento na lateral esquerda posicionada aproximadamente a 45 graus, a 2 metros de distância, com intensidade de 525 lux; (S) a contraluz foi inclinada a cerca de 22,5 graus sobre o objeto, a 180 cm de distância, com 300 lux.

4.2. Digitalização 3D com *escâner* profissional

Para a digitalização com o equipamento Artec EVA (Figura 8a), foi crucial utilizar um fundo com marcações. No ensaio do dinossauro (Figura 8b), foi empregado uma apara de papelão como

fundo devido à cauda extremamente fina do objeto, que mostrou-se um recurso relevante para a captura adequada da forma. Assim como no objeto vaso, foi útil outro aparato como fundo quadriculado sobre a mesa para destacá-lo, devido ao seu pequeno tamanho (Figura 8c).

Figura 8 - Componentes: escâner, fundos marcadores e objetos digitalizados.



Fonte: Autores, 2024.

Para realizar a digitalização com o escâner Artec EVA e fazer a varredura completa da superfície, o *software* capturou em média 10 quadros por segundo (fps), o que demandou cerca de 30 minutos por objeto. Além desse tempo, o processamento de cada objeto pode demorar de 1 a 3 horas, de acordo com a complexidade e tamanho da malha.

4.3. Aquisição das imagens

Para fotografar com os telefones, sem pretensões profissionais, foram utilizados recursos normais e de maneira simples. As fotos foram tiradas utilizando apenas as linhas de enquadramento básicas, sem o uso do modo profissional da câmera. O objeto foi mantido centralizado, e as distâncias foram mantidas semelhantes em todas as imagens. O armazenamento foi configurado para JPG, e a iluminação foi controlada utilizando um aplicativo dedicado que mostra os níveis de lux, conforme já exposto. Ambos os telefones apresentaram boa resolução nas fotos, com mudanças perceptíveis apenas quando alterava-se a iluminação, especialmente melhorando a captura em baixa luminosidade com o recurso Ultrapixel.

Além das fotos realizadas no laboratório, foram feitas capturas externas e diretamente nos aplicativos, posicionando o objeto sobre o suporte a uma distância de 5 cm da base, utilizando luz natural. Enquanto a lente da câmera estava aproximadamente a 20 cm do objeto, a maioria dos aplicativos limitava a captura a 70 fotos por objeto. As especificações de cada lente de câmeras dos telefones variavam, mas o resultado dependia exclusivamente dos algoritmos e das versões dos apps.

4.4. Escolha dos aplicativos

Conforme já exposto, buscaram-se aplicativos para dispositivos Android com as melhores avaliações, classificações e resenhas na *Google Play Store*. Suas características principais são detalhadas nos Quadro 4 e Quadro 5, sendo que os apps selecionados para teste são apenas os constantes no Quadro 5.

Quadro 4 - Aplicativos avaliados e não selecionados para teste

Logo	Descrição
<p>Qlone</p> 	<p>O Scanner 3D Qlone foi lançado em março de 2021, oferecido pela EyeCue Vision Technologies LTD. Foi utilizado na versão 3.16.1 e na atualização do dia 6 dezembro de 2023, com nota de 2.8 em 157 avaliações e mais de 1 mil downloads. Requer Android 7.0 ou superior com tamanho 5.2MB.</p>
<p>RealityScan</p> 	<p>O aplicativo foi lançado em junho de 2023 pela Epic Games International, S.à.r.l, possui nota de 4,3 em 832 avaliações e mais de 50 mil downloads. Utilizou-se a versão 1.3.1; com atualização de 11 dezembro de 2023; Requer sistema operacional Android 7.0 ou mais recente.</p>
<p>MagiScan</p> 	<p>O aplicativo foi lançado em julho de 2022 pela Magiscan, Inc. A versão utilizada foi 1.8.4 com atualização em 29 de novembro de 2023. Possui 3,9 em 4 mil avaliações e mais de 500 mil downloads. Requer Android 8 ou mais recentes e tem 83,95 MB de tamanho.</p>
<p>Revo Scan</p> 	<p>Revo Scan lançado em março de 2022 pela Revopoint. A versão analisada foi a 5.2.4 com atualização em 20 de dezembro de 2023. Não apresentou nota ou avaliações disponíveis, contudo possui mais de 50 mil downloads. Requer Android 7 ou mais recentes e tem tamanho 60MB. Necessita conectar equipamento externo via Bluetooth.</p>
<p>3DScanner</p> 	<p>3DScanner foi lançado em julho de 2022, pela SuTV. A versão utilizada foi a 1.0 com atualização de 16 de junho de 2023. Com nota de 3,7 em 177 avaliações e mais de 10 mil downloads. Requer Android 5 ou mais recente e tem o tamanho de de 11MB.</p> <p>Interrompeu-se os testes, devido aos erros, não sendo possível finalizar o processamento.</p>

Fonte: Adaptado do *Google Play Store*, 2024.

Os aplicativos listados no Quadro 5 foram selecionados para teste, e suas principais características são detalhadas a seguir. Nos principais apps, são frequentes as atualizações para correção de bugs, melhorias na experiência do usuário e otimização de desempenho, acompanhando a evolução dos dispositivos móveis, como utilizar as câmeras auxiliares, que não estavam disponíveis durante os testes. A seleção do principal app realizou-se de acordo com a Tabela 2.

Quadro 5 - Aplicativos selecionados e testados.

Logo	Descrição	Imagens (Autores, 2024)
<p>xOne</p> 	<p>O xOne da Xplorazzi Tech foi lançado em março de 2022 com nota 3,6 em 300 avaliações e mais de 100 mil downloads. Aplicou-se a versão 4.0.0 com atualização em 28 de novembro de 2023. Requer Android 8 ou mais recente com tamanho 112 MB; permite 15 dias livres e após exige cadastro. Não exige login e limita no mínimo 20 fotos. Permite upload das fotos, mas não concluiu o processamento. Um exemplo do melhor resultado do vaso, está na Figura A ao lado.</p>	<p>Figura A</p> 
<p>Widar</p> 	<p>Widar foi lançado em março de 2022 pela WOGO, Inc. Utilizou-se a versão 4.1.0 atualizada em 14 de setembro de 2023. Com 4,6 em 2 mil avaliações e mais de 100 mil downloads requer Android 10 ou mais recente e possui 121 MB de tamanho. Não importa fotos e não exporta de forma gratuita, oferece 5 objetos livres. Demora um pouco mais para processar e não mostra a malha. Utilizou 39 fotos e precisou de edição no pós-processamento para remover a base e o resultado foi variável de apenas regular (Figura B) a bom (Figura C).</p>	<p>Figura B</p>  <p>Figura C</p> 
<p>Kiri Engine</p> 	<p>O aplicativo, lançado em março de 2023 pela KIRI Innovations, versão 3.4.1, atualizada em 14 de dezembro de 2023. Possui nota de 4,5 com mais de mil avaliações e 100 mil downloads. Necessita de Android 7 ou mais recente. Permite baixar na versão paga, Exige pelo menos 20 fotos. Não exige login. Utilizou 39 fotos do máximo de 70. A qualidade foi boa e foco com ajustes automáticos. Faz upload apenas na versão paga e exige assinatura para visualizar. Valor da assinatura mensal R\$ 71,99 e anual R\$ 284,99. A Figura E (brilho metálico) e a Figura D (cauda estreita) mostram resultados regulares devido à complexidade dos objetos, outros objetos ficaram semelhantes aos apps anteriores.</p>	<p>Figura D</p>  <p>Figura E</p> 
<p>Polycam</p> 	<p>O Polycam lançado em abril de 2022 pela Polycam. versão 1.2.0 atualizado em 13 dezembro de 2023 com nota 4,7 em 15 mil avaliações e mais de 1 milhão de downloads. Requer Android 8 ou mais recente. Seu tamanho de armazenamento é de 429MB. Disponível por tempo limitado, permitindo 7 objetos gratuitos. Destaca-se dos demais, por permitir escolher o formato da exportação, completar missões para obter mais digitalizações e mais algumas funcionalidades gratuitas. Só importa fotos na versão web e exporta arquivos com cores em formato GLB. Intervalo de fotos 50-200, utilizou-se em média 88 fotos e 34 MB. Valores mensais 74,99 ou anuais 399. Entrega formato RAW nas imagens processadas. Teve desempenho regular (Figura F), devido à oclusão das patas do animal, mas excelente nas demais (Figuras G e H).</p>	<p>Figura F</p>  <p>Figura G</p>  <p>Figura H</p> 

Fonte: Autores, adaptado do Google Play Store (2024).

Tabela 2 - Avaliação do principal aplicativo

Critérios (20 argumentos)		Tabela B - Aplicativos / Notas Final (Avaliação do Autor: 1-5)									
#	Tipos	Peso (%)	QJone	RealityScan	xOne	Widar	MagiScan	Kiri	Revo Scan	Polycam	3DScanner
1	1-Logar, 2-Pular início, 3-Não Logar	0,02	-	-	1	1	-	2	-	1	3
2	Período de teste	0,10	-	-	3	4	-	4	-	5	3
3	Modo Captura: 1-Vídeo, 2-Auto Foto/Pausa, 3-Foto/Tempos, 4-Foto/Clique e 5-Foto ou Vídeo	0,10	-	-	5	5	-	5	-	3	1
4	Processamento / Falhas (velocidade)	0,10	-	-	3	5	-	1	-	5	1
5	Facilidade Digitalizar (velocidade)	0,05	-	-	4	5	-	4	-	4	2
6	Fotos (máximo) 1) +20, 2) +60, 3) +100, 4) +200, 5) +2000	0,05	-	-	4	5	-	3	-	3	1
7	Exportar 1-Pago, 2-Free/limitado e 3-Free	0,10	-	-	2	1	-	2	-	3	1
8	Compartilhar (visualizar via web) 1-Não, 2-Pago, 5-Sim	0,03	-	-	5	2	-	5	-	1	2
9	Rede Social 1-Não e 3-Sim	0,01	-	-	3	3	-	3	-	3	3
10	Privacidade 1-Baixa, 2-Média e 3-Alta	0,03	-	-	1	2	-	3	-	2	1
11	Resultado Visual (exatidão)	0,14	-	-	3	4	-	3	-	4	1
12	Limite arquivos 1) 1-2, 2) 3-5, 3) 6-9, 4) 10-12, 5) 13-15	0,01	-	-	3	3	-	3	-	5	3
13	Fechamento (inferior) (volume)	0,01	-	-	4	3	-	3	-	4	3
14	Upload 1-Não, 2-Pago, 3-Sim	0,02	-	-	3	1	-	2	-	1	1
15	Níveis Detalhe / RAW	0,02	-	-	3	3	-	3	-	5	3
16	Analisar 1-Amostra, 2-Normal, 3-Zoom, 4-Cor, 5-Malha	0,10	-	-	1	1	-	1	-	5	1
17	Realidade Aumentada 1-Não e 3-Sim	0,02	-	-	3	1	-	1	-	1	1
18	Medir partes 1-Não, 2-Pago, 5-Sim	0,05	-	-	1	1	-	1	-	5	1
19	Arquivo com Cores	0,02	-	-	1	1	-	1	-	1	1
20	Valor (PRO mensal) 5) +25, 4) +50, 3) +75, 2) +100 e 1) +200	0,03	-	-	5	5	-	3	-	3	4
Nota Final do App (Média Ponderada: 1-5)		1,0	-	-	2,92	3,21	-	2,72	-	3,74	1,52

Escala padrão: 1-ruim, 2-regular, 3-bom, 4-ótimo, 5-Excelente

Em destaque

Parar Teste

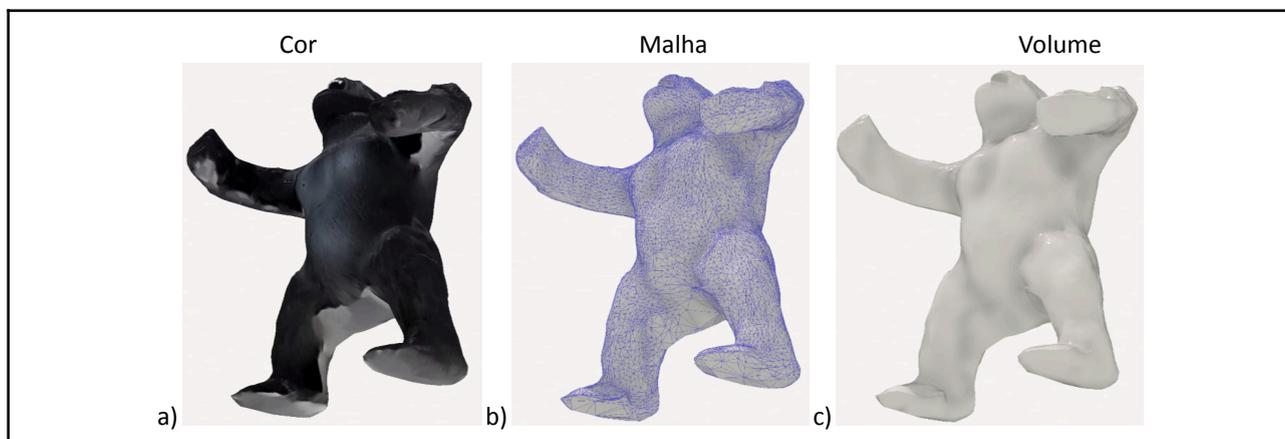
Fonte: Autores, 2024.

4.5. Processos e exportações nos apps

A maioria dos Apps demora um pouco para manipular os dados, não mostra a malha resultante, a não ser com a cor sobreposta, e não permite a exportação de formatos como STL, exceto na versão paga. Em termos de agilidade, o Widar e o Polycam foram os mais rápidos, enquanto o Kiri foi o mais lento e o 3DScanner não concluiu o processo, conforme a Tabela 2. Apenas o Polycam permitiu gerar um arquivo exportável, enquanto o Kiri e o xOne permitem apenas a exportação em formato de vídeo na versão grátis. Embora as cores possam atrapalhar a visualização da malha, elas são importantes para a composição do objeto. Apenas o Polycam permite visualizar a imagem colorida (Figura 9a), a malha sem cores (Figura 9b) ou o volume sem o wireframe (Figura 9c) do objeto, mas, ainda assim, não é possível perceber a textura das superfícies. Na Figura 9a, também é possível perceber os ajustes para fechamento da malha na

parte inferior, mostrando um tom diferente na cor devido às orientações das fotografias, iluminação e área de oclusão/sombra.

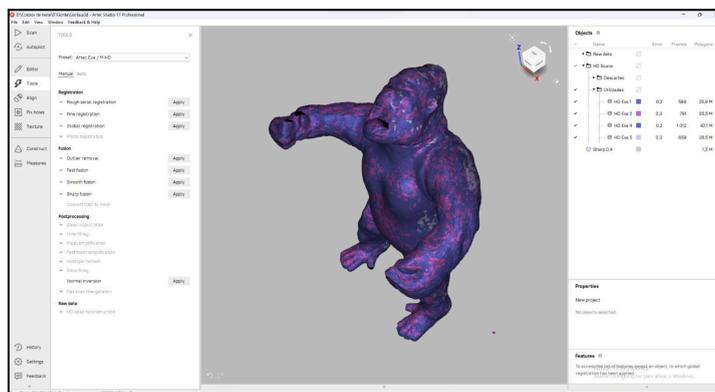
Figura 9 - Visualização da malha obtida.



Fonte: Autores, 2024.

O *software* Artec Eva, diferente dos anteriores, pode juntar mais de uma varredura da mesma malha do mesmo objeto, complementando a imagem final. Além de ter um processamento externo em computador de maior capacidade e *software* dedicado, *Artec Studio 17 Professional* (Figura 10). Concluiu-se apenas o processamento do gorila para a análise e comparação com o melhor resultado dos aplicativos.

Figura 10 - Processamento Artec Studio.



Fonte: Autores, 2024.

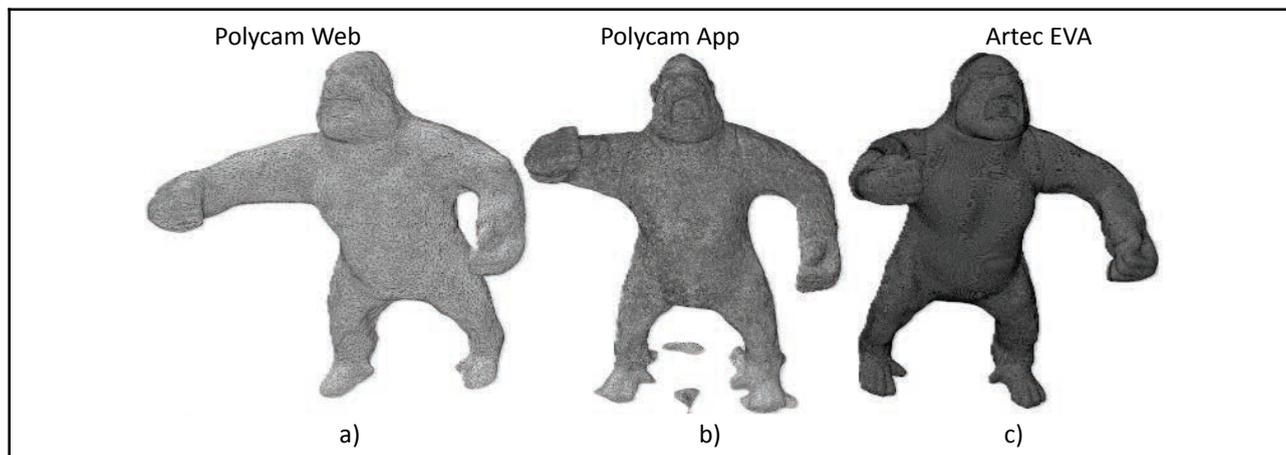
4.6. Comparações

Foi realizada a análise visual das malhas, de forma qualitativa, para comparar os resultados dos apps. Os resultados ficaram próximos visualmente, mas a resolução, que demonstra o menor incremento na distância que pode ser medida, mostrou que a malha ficou mais densa no equipamento comercial da Artec, embora também mais lisa, não representando tão bem os sulcos da superfície do objeto.

O app Polycam permite o processamento em nuvem (web) ou no telefone, o que traz resultados diferentes. A escolha depende da capacidade de processamento dos equipamentos e

também deve ser considerada a redução da resolução da foto, para envio à nuvem, por exemplo. A Figura 11 mostra três processos de geração de malha: (a) realizado no Polycam via web, com 30 fotos carregadas; (b) gerado no app Polycam via telefone, com 90 fotos; e (c) resultado do Artec EVA (comercial).

Figura 11 - Comparação das malhas.



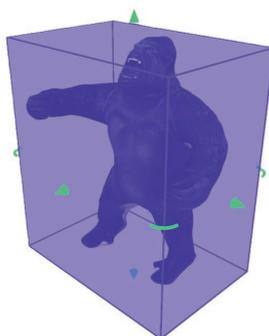
Fonte: Autores, 2024.

Observa-se a densidade da malha, na Figura 19, onde as cores mais claras indicam menor intensidade. Em relação ao aspecto visual dos elementos naturais escolhidos, focando na textura do material, o objeto da direita (c), embora tenha a melhor densidade de malha, apresenta uma superfície muito lisa, sem os sulcos e ranhuras presentes na peça original. Neste quesito, o melhor resultado foi obtido pelo objeto central (b).

4.7. Pós-tratamento

O pós-processamento dos modelos possibilita a representação tridimensional detalhada dos objetos, melhorando significativamente a visualização deles na modelagem final do produto. Utilizando parâmetros dos *softwares* para manipulação 3D, como cortes precisos e ajustes na malha, como exemplificado na Figura 12, foi cuidadosamente corrigido o problema da junção dos pés à base.

Figura 12 - Edição de modelo 3D

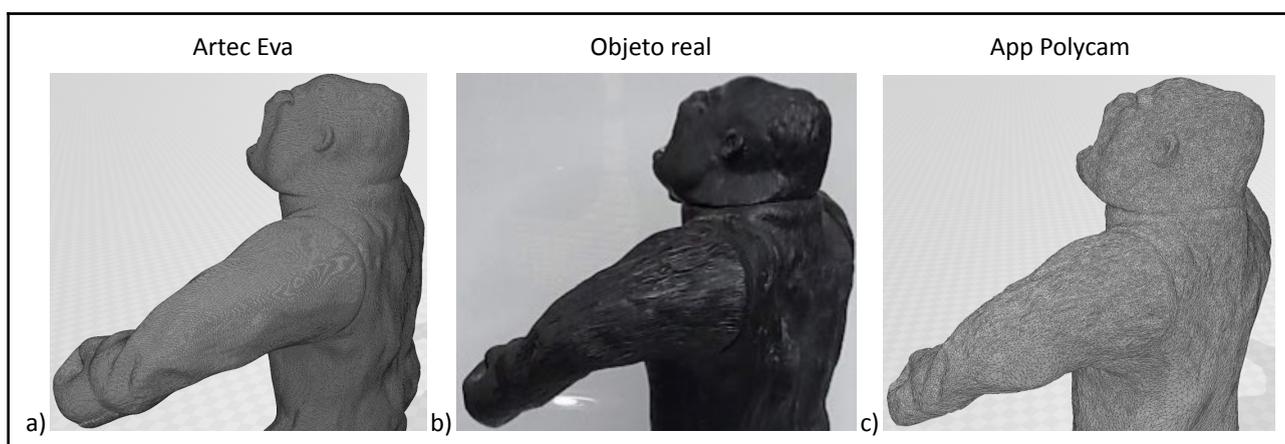


Fonte: Autores, 2024.

4.8. Considerações finais

Reflexões sobre a precisão dos modelos foram feitas sem utilizar medições na malha, apenas visualmente, considerando a densidade de polígonos. Na Figura 13, as malhas geradas são as seguintes: (a) Artec EVA, embora apresente mais detalhes nos contornos e uma malha mais densa, sua superfície é extremamente lisa; em contraste com o (b) objeto real, mantém suas medidas de referência; enquanto a malha (c) Polycam revela perda de detalhes, porém, conserva o aspecto da textura original. As texturas observadas mostram superfícies aparentemente próximas às reais, com poucos detalhes divergentes, e uma plenitude cromática muito realista em relação ao original.

Figura 13 - Malhas dos modelos realizados



Fonte: Autores, 2024.

Por fim, revisitam-se as necessidades técnicas levantadas nas hipóteses:

(i) Fundo-base com marcadores: auxilia no destaque da peça e contrasta com o meio, necessário no digitalizador profissional, mas sem necessidade de utilização nos apps;

(ii) Base giratória controlável (Figura 4a): não é necessária, pois na maioria dos apps as imagens podem ser capturadas girando a câmera em torno do objeto (Figura 6), e nem todos os aplicativos permitem baixar imagens para posterior processamento;

(iii) Suporte para o telefone (Figura 4b): também não é necessário, pois as capturas nos apps precisam diferenciar um fundo;

(iv) Cenário para fotografar: não foi necessário, No Artec EVA, somente a mesa base e, em alguns casos, outro objeto ao lado auxiliaram no processo. Também não foi utilizado nos apps, pois paredes ou até vegetações ao fundo impactam positivamente. É preferível que o fundo não seja totalmente estático ou muito próximo ao objeto;

(v) Luz artificial e pontos de iluminação estratégicos: para proporcionar o melhor resultado, é necessário evitar sombras intensas com vários pontos de luz moderadamente difusos, usando luz direta na parte frontal (caso não gere muita sombra) e permitir controle sobre o brilho na peça;

(vi) Efeitos da luz natural: evitou-se luz intensa, cuidando apenas das variações na iluminação. Aproveitou-se a luz mais difusa sem sombras duras em dias nublados, nos quais as próprias nuvens difundem a luz, obtendo o melhor resultado nesta condição;

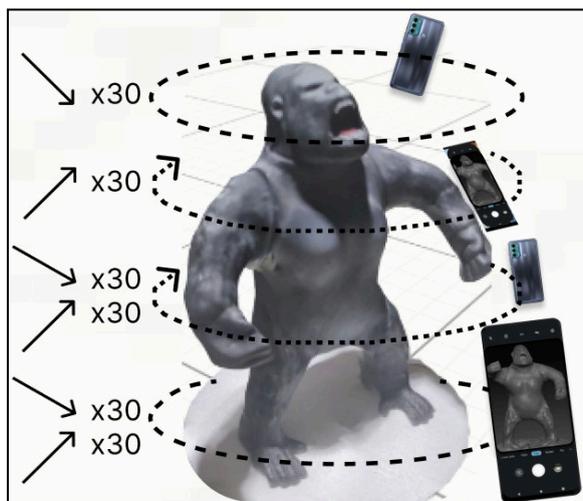
(vii) Quantidade de fotos: varia de acordo com o objeto e também entre os aplicativos. Percebe-se que, quanto mais fotos, maior a nitidez e foco, melhor é o resultado. Para o gorila, a estimativa inicial não estava adequada: 30-60 fotos são poucas, 60-90 são razoáveis e 120-150 já tornam-se boas. O melhor resultado foi com 180 fotos, sendo que o limite na versão gratuita é de 200 fotos;

(viii) Edição no próprio aplicativo: limitada mas de fácil utilização, realizada sem maiores dificuldades para remover áreas não desejadas ou realizar cortes, sendo útil para apresentação final do objeto;

(ix) Resolução e distinção de superfícies: os materiais são melhor representados pelas cores e brilho das imagens. Quando sobrepostas à malha, as cores parecem fidedignas, mas a maioria dos apps não permite exportação gratuita. A textura, por outro lado, não fica tão evidente devido à resolução não muito elevada, apresentando leves relevos na peça.

Como aprimoramento, sugere-se: aumentar ao máximo, conforme o limite disponível do app, a quantidade de fotos; alterar a orientação de 90 graus para 45 graus em relação à superfície; aumentando de 3 para 6 tomadas, orientadas como as setas na Figura 14; otimizar a iluminação no processo de captura.

Figura 14 - Orientação fotográfica otimizada.



Fonte: Autores, 2024.

5. Conclusão

A qualidade das malhas obtidas por apps é suficiente para posterior modelagem em outros aplicativos, apesar de algumas limitações, é possível conectar ferramentas para melhores resultados e maior agilidade na edição de objetos virtuais.

Os resultados dos apps mostraram leves alterações nas geometrias e em detalhes nas versões dos objetos. Há diferentes recursos entre os aplicativos, como compartilhamento de vídeos nos apps XOne e Kiri; análise e medição de malha no Polycam; e realidade aumentada no XOne. Porém, a maioria dos recursos só está disponível nas versões pagas.

De acordo com a necessidade do usuário, pode ser interessante o aproveitamento máximo

de todos os recursos disponíveis para obter o melhor resultado dos apps. Quanto melhor a iluminação, a qualidade da câmera e do aplicativo, bem como a técnica de captura da imagem, melhor será o resultado final. Deve-se também dar ênfase à estética fotográfica, focando nas partes principais como no rosto, nos olhos, nas dobras dos movimentos e, às vezes, até mesmo nos defeitos existentes na peça, para obter resultados mais fidedignos.

A falta de familiaridade com tecnologias pode ser desafiador, mas a prática e a experiência permitem obter melhores resultados na transição do físico para o digital via fotogrametria. Isso permite capturar modelos 3D sem a necessidade de equipamentos especializados e de alto custo. O estudo proporcionou aprendizado sobre tecnologias 3D de fácil acesso, incentivando a expansão da pesquisa para a resolver diversos problemas.

Sugestões para trabalhos futuros: imprimir em 3D objetos digitalizados por apps e comparar com o objeto real, explorando escalas; implementar marcadores prévios para medição de pontos pós-digitalização e impressão, analisando superfícies ou áreas, medições de diâmetros ou partes do objeto e suas rugosidades; explorar melhores enquadramentos, incluindo o uso de outras câmeras (por exemplo, câmera macro para focar pequenas partes), outros modelos de telefones e outras plataformas como iOS; avaliar a digitalização 3D de superfícies brilhantes ou transparentes; avaliar diferentes configurações de iluminação.

Referências

Araujo, M. C. E., Duarte, M. M. S., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). **Contribuições da engenharia reversa e produção de modelos 3D para o ensino médico**. Research, Society and Development, 10 (11), e385101119692.

Artec 3d. **Artec Eva**. 2024. <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva>

Bernardini, F.; Rushmeier, H. **The 3D Model Acquisition Pipeline**. Computer Graphics Forum, v. 21, p. 149-72, 2002.

Bortoleto, L. T.; Sampaio, C. P. **Digitalização 3D e impressão 3D de baixo custo voltada à saúde pública: estudo de aplicação em órtese infantil**. 2022.

Brendler, C. F., Müller, M. S., Silva, F. P. d., & Teixeira, F. G. (2016). **Uso da digitalização 3D do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners Artec EVA e o Kinect**.

Cerqueira D, **Avaliação do desempenho de smartphones na medição da iluminância**. Repositório da Universidade de Lisboa Comunidades & Coleções FMH - Faculdade de Motricidade Humana BFMH - Biblioteca Noronha Feio BFMH - Dissertações de Mestrado / Master Thesis, 2020.

Dantas, P. V. F.; Ribeiro, T. R. R.; Bruscato, Underléa M. e Silva, F. P. **Protótipo de dispositivo facilitador para digitalização 3D por fotogrametria com smartphones**. In: Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (20. : 2016 out. 09-11: Buenos Aires, Argentina) SIGraDI (20. : 2016 out. 09-11 : Buenos Aires, Argentina). Anais eletrônicos.

Duarte, M. M. S., Araujo, M. C. E., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). **Aplicabilidades da técnica de fotogrametria no ensino de Anatomia Humana**. Research, Society and Development, 10 (11), e51101119328.

Ferreira Neto, F. L.; Santos, D. M. **A modelagem digital 3d como ferramenta no design de joias**. In: Celme Torres Ferreira da Costa; Regiane Lorenzetti Collares; Denysson Axel Ribeiro Mota; Henry Pôncio Cruz de Oliveira. (Org.). *Caderno de Experiências: Pesquisa em Foco*. 1ed. Juazeiro do Norte: Universidade Federal do Cariri, 2015, v. 1, p. 179-184.

Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Gonçalves, G. **Brasil é um dos países com a maior taxa de celulares Android no mundo**. ECommerce Brasil, 3 de jul. de 2023.

Google Play Store, Android Apps.

Kilian, R. J. **Cenarização: a ferramenta essencial para uma estratégia efetiva**. Dissertação (Mestrado em História Comparada) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Moura, Edgar Peixoto de. **50 anos: Luz, Câmera e Ação**. 2. ed. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2018.

Phil L. D., Healty & Safety International. **Lighting levels, Achieving The Goldilocks Approved “Just Right”**, 16 December 2019.

Ramalho, José. **Fotografia Digital**, Editora Campus, 2004.

Silva, Fabio Pinto da. **O uso da Digitalização Tridimensional a Laser no Desenvolvimento e Caracterização de Texturas Aplicadas ao Design de 93 Produtos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Silva, Fabio Pinto da. **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência**. Porto Alegre: 2011. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia, Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Softonic. **3D Builder para Windows**, 2024.

Struck, R. *et al.* **Application of photogrammetry in biomedical science**. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 1120, p. 121–130, 2019.

Thingiverse, UltiMaker. 2024 www.thingiverse.com

Tommaselli, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente: Departamento de Cartografia, 1999.

Yin. R. K. **Estudo de Caso Planejamento e Métodos**. Porto Alegre, Bookman, 2010.

Agradecimentos

Agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por oportunizar esta pesquisa, demonstrando a importância do conhecimento e da pesquisa para o desenvolvimento do País. Agradecimento ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) e também às contribuições dos colegas Paulo Victor Dantas e Pedro Arthur Silva.