REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2026, Vol. 16, No. 32
DOI 10.23972/det2026iss32pp01-11

Protocolo para digitalização 3D de instrumentos científico histórico do patrimônio de Ciência e Tecnologia. O caso do Telescópio Pazos

Cassiane Patzlaff [1]; André S. Monat [1]; Almir Mirabeau da F. N. [1]

[1] *Programa de Pós-Graduação em Design da ESDI, Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade Estadual do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil*

RESUMO

Este artigo trata do estudo de caso *ex-post-facto* da digitalização 3D do Telescópio Pazos, um dos mais antigos telescópios equatoriais do país, instalado no atual Observatório do Valongo, na cidade do Rio de Janeiro, desde 1881. Digitalizar tridimensionalmente instrumentos científicos de valor histórico tem se tornado cada vez mais frequente com o avanço das tecnologias de digitalização 3D. Essa atividade auxilia na divulgação, estudo, preservação e celebração da ciência e das instituições que os preservam. Entretanto, o uso de sistemas ópticos de digitalização 3D enfrenta desafios para capturar superfícies reflexivas ou transparentes, especialmente de artefatos históricos em condições de preservação. A fim de estabelecer um protocolo que auxilie a orientar futuras digitalizações de instrumentos científicos com características reflexivas e transparentes foi analisado o processo de digitalização 3D do telescópio Pazos. Uma equipe interdisciplinar composta por designers e astrônomos planejou e executou as etapas de digitalização, prototipagem e impressão 3D de miniaturas comemorativas produzidas a partir do modelo digitalizado. Após o levantamento das principais interferências ópticas que atrapalham a digitalização via sistemas ópticos, foram empregadas estratégias de design e pensamento projetual para mapear os principais meios de mitigar o problema. A atividade resultou na elaboração de um Protocolo para a digitalização 3D de instrumentos científicos pertencentes ao Patrimônio Cultural de Ciência e Tecnologia (PCC&T). O protocolo sugerido foi dividido em seis etapas principais que compreendem desde a fase de alinhamento de expectativas até chegar ao arquivo 3D que poderá ser utilizado em diversas aplicações digitais ou físicas. Neste estudo de caso, especificamente, foi detalhada uma etapa posterior, a de confecção de réplica via impressão 3D, que não é considerada uma etapa generalizável, pois varia de acordo com a finalidade inicial do projeto. As etapas do protocolo proposto, a partir do estudo de caso da digitalização do Telescópio Pazos, poderão servir de apoio para mitigar os efeitos ópticos da luz sobre instrumentos com superfícies reflexivas ou transparentes. Intenta-se assim contribuir para facilitar o processo de digitalização e posterior utilização, dos modelos gerados, em contextos variados de promoção e divulgação da ciência.

PALAVRAS-CHAVE

Instrumento Científico Histórico;
Digitalização 3D;
Patrimônio Digital;
Patrimônio de C&T;
Co-design

Protocol for 3D digitization of scientific instruments from science and technology heritage. The case of the Pazos Telescope

ABSTRACT

This paper deals with the *ex-post-facto* case study of the 3D digitization of the Pazos Telescope, one of the oldest equatorial telescopes in the country, installed in the current Valongo Observatory in the city of Rio de Janeiro since 1881. Three-dimensionally scanning scientific instruments of historical value has become increasingly common with the advance of 3D scanning technologies. This activity helps to disseminate, study, preserve and celebrate science and the institutions that preserve them. However, the use of optical 3D scanning systems faces challenges in capturing reflective or transparent surfaces, especially of scientific instruments in preservation conditions. In order to establish a protocol to help guide future instrument scans of historical artifacts with reflective and transparent characteristics, the 3D scanning process of the Pazos telescope was analyzed. An interdisciplinary team made up of designers and astronomers planned and carried out the stages of digitization, prototyping and 3D printing of commemorative miniatures produced from the digitized model. After surveying the main optical interferences that hinder digitization via optical systems, design strategies and design thinking were employed to map out the main means of mitigating the problem. The activity resulted in the drafting of a Protocol for the 3D digitization of scientific instruments belonging to the Cultural Heritage of Science and Technology (PCC&T). The suggested protocol was divided into six main stages, ranging from the phase of aligning expectations to the 3D file that can be used in various digital or physical applications. In this case study, specifically, a later stage was detailed, that of making the replica via 3D printing, which is not considered a generalizable stage as it varies according to the initial purpose of the project. The stages of the proposed protocol, based on the case study of the digitization of the Pazos Telescope, could serve as support to mitigate the optical effects of light on instruments with reflective or transparent surfaces. The aim is to help facilitate the process of digitization and subsequent use of the models generated in various contexts for the promotion and dissemination of science.

KEYWORDS

Historical Scientific Instruments;
3D Digitization;
Digital Heritage;
C&T Heritage;
Co-Design

CONTATO: Cassiane Patzlaff – *cassiane.patzlaff@gmail.com*

© 2026 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento dos museus modernos, no século XV, museus e acervos assumiram o papel de agentes não-formais de educação, transmitindo ao público o significado e conhecimentos dos artefatos históricos por meio de exposições. Os artefatos científicos históricos são importantes testemunhos do processo de construção da ciência de um país, permitindo olhar para a história da nação sob a ótica da ciência (MAST, [2023]).

A salvaguarda de artefatos históricos demanda, muitas vezes, recolher esses bens a ambientes para conservação, diminuindo o acesso do público. Estratégia usuais para disponibilizar esses acervos ao público sem perigo de dano são: exposição do objeto em vitrines, inacessíveis ao toque e análise mais próxima pelo público; uso da digitalização tridimensional e posterior disponibilização de réplicas físicas idênticas, exposição de réplica digital, muitas vezes via recurso imersivo, obtidas a partir de modelagem digital ou digitalização 3D. Fato é que as diversas tecnologias de digitalização 3D têm auxiliado na confecção e melhor fruição de acervos musealizados.

O design voltado à digitalização 3D do patrimônio é um campo que vem ganhando espaço com a evolução e popularização das tecnologias de digitalização 3D. O aumento na capacidade de processamento e armazenamento dos microcomputadores, juntamente com ferramentas digitais de produção com valores mais acessíveis, têm apoiado o progresso científico. Conforme a European Commission (2022), conexões de internet mais rápidas, a maior largura de banda e a menor latência, possibilitam o trabalho com maiores volumes de dados e modelos 3D de alta resolução. Hoje é possível compartilhar simultaneamente uma versão digital de um objeto infinitas vezes, facilitando sua análise histórica e técnica.

Projetos integrando a digitalização 3D têm sido cada vez mais frequentes nos grandes centros de ciência e tecnologia. A digitalização tridimensional é utilizada como ferramenta auxiliar nos processos de preservação, restauro e divulgação. A União Europeia, por exemplo, possui um repositório de modelos 3D digitalizados, que auxilia na preservação cultural digital de toda Europa, o Europeana, disponível desde o ano de 2008.

Designers já vêm atuando em equipes interdisciplinares na criação de expografia para museus, tanto na parte gráfica quanto na parte de produto e agora também em equipes focadas na criação de experiências digitais e imersivas a partir de objetos 3D. Representações tridimensionais, digitais ou físicas, aguçam memórias e sentimentos para aqueles que conhecem os artefatos reais, mas também podem ser ferramentas que auxiliam a construir o entendimento de um conceito (mecânico, físico) ou servirem para compreender a evolução do conhecimento científico e tecnológico de determinada área, representado em um objeto. Para além da análise simbólica, um modelo digitalizado permite intervenções virtuais e reproduções para diferentes fins.

Porém, para tornar mais acessíveis alguns dos artefatos de valor histórico que estão inacessíveis ao público por estarem em reservas técnicas ou vitrines em Museus, devido a sua fragilidade ou raridade, museus têm optado por apresentá-los digitalmente, parcialmente ou em sua totalidade de cor e forma, ou fisicamente, através de réplicas em diferentes escalas, prototipadas nos mais diversos materiais, com o auxílio de tecnologias de prototipagem rápida (Volpato, 2021).

Cabe ressaltar que cada objeto terá suas especificidades para digitalização, mas objetos reflexivos e transparentes não têm suas formas capturadas por tecnologias que operam por tecnologia óptica não destrutiva, caso de digitalizadores a laser ou por luz estruturada. Isso ocorre em razão dos efeitos ópticos de incidência da luz sobre superfícies metálicas e vítreas.

Nessa perspectiva, surgiu a oportunidade de registrar e analisar o processo de digitalização 3D do Telescópio Equatorial Pazos, um instrumento científico de valor histórico, digitalizado pela autora em 2022, juntamente com astrônomos do Observatório do Valongo (Universidade Federal do Rio de Janeiro). A autora detém empresa especializada em design e digitalização 3D de objetos de formas complexas. Como o processo de digitalização do telescópio em análise exigiu um trabalho intenso devido à sua composição material variada, o que a torna um caso relevante para a análise *ex-post-facto*.

Considerando que o telescópio é composto de metal e vidro, foi crucial estabelecer, antes do início do processo, os requisitos e restrições para sua digitalização. Para isso, foi desenvolvido um protocolo que esquematiza as diferentes possibilidades e implicações do processo, o que facilitará futuras digitalizações de artefatos dessa natureza.

O objetivo deste estudo é definir um protocolo eficaz para a digitalização 3D de instrumentos científicos do patrimônio de Ciência e Tecnologia (C&T) a partir do estudo de caso do Telescópio Pazos. Assim, apresentamos as principais etapas do processo de digitalização 3D, bem como as soluções adotadas para sua replicagem física e representação virtual.

2. INSTRUMENTO CIENTÍFICO HISTÓRICO - ICH

De acordo com as pesquisadoras Santos e Loureiro (2016), as coleções de ciência e tecnologia são formadas por objetos que foram “utilizados em atividades relacionadas à pesquisa científica, ao ensino de ciência ou à divulgação científica". Isso engloba objetos das mais variadas formas, dimensões e funções, pois o essencial é que o contexto seja considerado científico.

Na definição de Araújo, Ribeiro e Granato (2017), na Carta do Rio de Janeiro, o legado “tangível e intangível relacionado ao conhecimento científico e tecnológico produzido pela humanidade” constitui o Patrimônio Cultural de Ciência e Tecnologia (PCC&T). Assim, além das características físicas, os objetos possuem valor simbólico, o que implica em um trato diferenciado para garantir sua preservação e unicidade. Para este estudo nos cingimos a objetos de natureza técnica, que enquadramos na categoria de Instrumento Científico Histórico (ICH). Abrangendo, inicialmente, instrumentos ópticos, em que predominam materiais metálicos, que são na maioria das vezes altamente reflexivos, lentes ou outras peças de cristal, vidro ou acrílico que são materiais com características de transparência ou translucidez.

2.1 Categorização quanto às dimensões

Na nossa categorização de ICH, consideramos instrumentos ópticos como lunetas, telescópios e microscópios, etc. que consideramos como sendo objetos de médio porte, com medida máxima próxima a 3 (três) metros, quando se tratam de telescópios.

Como artefatos de pequeno porte enquadramos os que demandam a utilização de sistemas de ampliação de imagem para sua visualização ou digitalização tridimensional. Já como artefatos de grande porte consideramos edificações que demandam a utilização de tecnologias de longo alcance (*long range*) para sua digitalização 3D.

2.2 O Telescópio Equatorial Pazos

O Telescópio apelidado de Pazos, faz parte da coleção de instrumentos históricos do Observatório do Valongo (OV), pertencente à UFRJ. Foi instalado no Morro de Santo Antônio em 1881, ano de fundação oficial do Observatório Astronômico da Escola Polythécnica, antecessor do OV, sendo depois instalado no Morro da Conceição, em 1924, onde se encontra atualmente. O instrumento foi construído pela empresa inglesa

T. Cooke & Sons, por encomenda da Escola Militar, e foi usado para práticas de Astronomia e Geodésia dos alunos das Escolas de Marinha, Politécnica, Militar e também no Curso de Graduação em Astronomia, da UFRJ (Campos, 2023).

O instrumento foi o primeiro telescópio equatorial construído no Brasil em uma época em que havia poucos artesãos com conhecimento e talento necessários para a construção de telescópio sofisticado. Havia poucos profissionais gabaritados no mundo e os fatos apontam que o telescópio realmente poderia ter sido construído no Brasil por artesãos aumentando prestígio científico do país (CAMPOS, 2023).

Sua montagem equatorial foi realizada pela T. Cooke & Sons (Figura 1) para ser usada nos telescópios refratores oferecidos no seu catálogo (T. Cooke & Sons, 1886) e está apoiada sobre um pilar de ferro de 1,82 m. Sua luneta apresenta uma abertura de 11,5cm, com distância focal de 183 cm (72 polegadas). O telescópio soma mais de 2,5 m de altura. Embora tenha perdido o título de primeiro telescópio equatorial feito no Brasil, o telescópio Pazos tem o seu valor histórico por ter sido manuseado por centenas de alunos que se tornaram Oficiais do Exército, de Marinha e Engenheiros, que participaram da elite intelectual do Brasil ao longo dos últimos 143 anos. Também integrou a missão brasileira que participou da observação do Trânsito de Vênus pelo Sol no dia 6 de dezembro de 1882 (fenômeno que ocorreu com intervalo de 105 e 121 anos) em Saint Thomas, Caribe, na expedição chefiada pelo Barão de Teffé. O "Pazos" foi o primeiro instrumento a ser instalado no morro da Conceição quando da mudança do observatório, e foi o único no campus até 1953, quando foi instalado um telescópio Equatorial com 30 cm de abertura, também fabricado pela Cooke & Sons.

A partir de 1958, o telescópio Pazos passou a ser usado por professores e alunos do Curso de Graduação de Astronomia, fundado na FNFi neste ano, da Universidade do Brasil. Com a chegada de novos telescópios provenientes do Acordo do Café com a República Democrática Alemã, o telescópio Pazos foi retirado do serviço. Pela proximidade entre as datas de fundação do OEP e da instalação do telescópio, este é considerado como símbolo do nascimento do Observatório-Escola do Valongo (CAMPOS, 2023).

3. METODOLOGIA

Para definir as etapas do protocolo de digitalização 3D de instrumentos científicos do patrimônio cultural de Ciência e Tecnologia (C&T), fundamentamos nosso trabalho na análise de diferentes manuais/guias nacionais e internacionais, e fluxos de trabalho de digitalização 3D de diferentes tipologias de artefatos. Adaptamos as recomendações disponíveis às necessidades específicas dos artefatos em questão. Esse protocolo é essencial para garantir que a digitalização de acervos científicos seja realizada com rigor e padronização, promovendo a preservação de patrimônios e facilitando o acesso à informação.

Nessa análise consideramos diretrizes internacionalmente reconhecidas, como as do projeto *Sharing New Perspectives* (Share 3D), de 2019, uma iniciativa cofinanciada pelo Connecting Europe Facility of the European Union (CEF) destinada ao compartilhamento de acervos em 3D entre 2018 e 2022. Também utilizamos recomendações da *European Commission* presentes no Estudo Sobre a Qualidade na Digitalização 3D do Patrimônio Cultural Tangível (2022), o guia de recomendações *Guidelines and Case Studies* (3D-ICONS), de 2014, e o *workflow* apresentado por Vrubel (2008), além da experiência prévia dos autores e o Estudo de Caso ex-*post-facto*.

Para a preparação, aquisição digital da forma, processamento e adequação dos dados obtidos, definimos seis etapas principais, que serão abordadas a seguir:

1. Alinhamento de expectativas;
2. Análise física do objeto;
3. Preparação dos recursos;
4. Captura digital dos dados físicos;
5. Pós-processamento e otimização da malha;
6. Adequação do modelo 3D conforme a necessidade.



Figura 1 Imagem de catálogo e fotografia da parte superior do Telescópio Pazos. (Fonte: Catálogo T.Cooke & Sons (1884) e Campos (2017)).

Essas seis etapas podem ser englobadas em três grandes fases: preparação, aquisição digital da forma e processamento e adequação dos dados. O esquema pode ser visualizado na Figura 2:

- Se há necessidade da captura da cor
- Qual o orçamento e recursos disponíveis
- Qual o nível de detalhamento (precisão)
- Qual o prazo para finalização e entrega



Figura 2 Fluxograma metodológico para Digitalização 3D de Instrumentos Científicos Histórico. (Fonte: Elaborado pelos autores)

3.1 Etapa 1 – Alinhamento de expectativas

Além do compromisso com a preservação da memória histórica, é essencial entender as intenções por trás da digitalização 3D de um objeto ou artefato desde o início do projeto. Muitas variáveis podem impactar os resultados, e um alinhamento claro ajuda a evitar retrabalhos, como a repetição de etapas com diferentes configurações. Isso não apenas evita atrasos, mas também reduz os custos do projeto.

3.1.1 Requisitos pelo design

Para o Estudo de Caso de projetos de digitalização 3D, seguimos a premissa de abordagem do design colaborativo, que é apresentada no manual Co-create (2019). Essa premissa diz que deverão ser adotados processos que visam a compreensão, desenvolvimento e apoio de aprendizagem mútua entre os vários participantes na projetação e tomada de decisões coletivas. De acordo com o manual Co-create (2019), na fase de preparação, os objetivos e atribuições precisam ser claramente estabelecidos e conhecidos por todos os participantes; as pessoas envolvidas precisam receber as informações sobre o processo; os graus de influência e o poder de decisão; a concepção e a gestão do processo precisam ser adaptadas ao tema desenvolvido, ao calendário e ao quadro financeiro; questões organizacionais como equipamento técnico devem ser definidos.

A partir de princípios de design colaborativo e pensamento projetual, foram definidos os principais elementos que compõem a etapa de alinhamento prévio de expectativas, do protocolo. Para acompanhar o processo e auxiliar na definição das saídas foi estabelecida colaboração interdisciplinar com o Professor Doutor José Adolfo de Campos, que atuou nas diferentes etapas dando suporte e auxiliando na criação do produto. Essa integração de conhecimentos e habilidades diversas é essencial no pensamento projetual, garantindo que todas as perspectivas sejam consideradas e que as soluções propostas sejam mais inovadoras e eficazes.

Com o cronograma e orçamento definido, foi acordado que não seria necessária a captura da cor, já que o intuito era apenas de reproduzir a geometria principal em escala reduzida. Assim, foi também definido que a resolução necessária não seria superior à 1mm.

3.1.2 Qual a precisão?

Apesar da precisão e acurácia se referirem aos equipamentos empregados, é ainda na etapa de alinhamento de expectativas que serão avaliadas quais tecnologias, equipamentos, tempo e recursos financeiros que serão empregados na realização do projeto.

Precisão e acurácia são conceitos que muitas vezes são tratados como sinônimos, mesmo que não apresentem o mesmo significado. Como indicado no relatório da European Commission (2020), “elementos importantes, como a exatidão e a precisão, nem sempre são utilizados de forma coerente pelos intervenientes”, sejam acadêmicos, empresariais ou comerciais e políticos. Enquanto resultados com boa precisão, possuem menor variação de valores (pontos da malha mais próximos), na digitalização 3D, a precisão refere-se à consistência das medições, enquanto a acurácia indica a proximidade em relação ao valor real. De acordo com o mesmo relatório, não há no mercado um consenso sobre dados de precisão e acurácia relativos aos equipamentos de digitalização 3D. Os digitalizadores 3D em geral apresentam precisão e acurácia descritos em seus manuais quando são utilizados para digitalizar objetos em condições extremamente favoráveis. O que não é possível, por exemplo, quando se fala de objetos metálicos com reflexos, muito escuros, ou com superfícies transparentes ou translúcidas. Alguns equipamentos de digitalização de ambientes, após o processo de captura, fornecem um relatório da acurácia dos dados que atingiram. Entretanto, em equipamentos que digitalizam objetos menores, apenas os equipamentos mais caros ou softwares proprietários apresentam relatórios de dados semelhantes.

Mesmo assim, definir a resolução pretendida é crucial no início do processo, pois a etapa de seleção de equipamento e a captura de dados tridimensionais depende dessa informação, e por conseguinte, todas as etapas posteriores. Assim como não é possível aumentar a resolução de uma foto depois dela ter

sido tirada, também não é possível fazer isso com um modelo digitalizado.

O objetivo do projeto de digitalização do telescópio foi claro, a confecção de réplica em escala reduzida. Assim, não havia necessidade de digitalização com precisão utilizada para objetos muito detalhados ou com necessidade de ampliação. Essa escolha diminuiu o tempo total de captura e processamento digital dos dados físicos, se comparado ao que o equipamento seria capaz de atingir. Essa escolha também impacta no espaço de armazenamento necessário e no tempo de pós-processamento do modelo gerado. Como não foi necessária a captura da cor, também não foi necessária a preocupação com recobrimento do objeto, o que diminuiu a quantidade de reflexos.

3.2 Etapa 2 - Análise física do objeto

O processo de digitalização costuma ser iniciado pela avaliação dos fatores físicos que podem dificultar a digitalização, tornando o processo mais demorado. Para isso são feitas análises visuais presenciais, e via fotografias, para dimensionar e analisar o objeto a ser digitalizado. Também é feito um levantamento acerca do artefato, que contribui para o entendimento de sua composição física, além de informações pertinentes à história do artefato, para auxiliar no e planejamento das etapas posteriores do projeto, quando houver.

De acordo com o relatório da Share3D (2019), as tecnologias 3D são utilizadas em diversos contextos do patrimônio cultural, indo da captura de monumentos arqueológicos, edifícios históricos e paisagens até pequenos objetos para documentação, conservação, reconstrução e criação de ambientes virtuais. O tamanho do objeto e o tipo de resultado pretendido influenciam na possibilidade de trabalhar dentro ou fora de estúdios, e a escolha pelo equipamento adequado. Portanto é importante considerar com cuidado os objetivos de captura. Se será necessário capturar o objeto na sua totalidade, ou apenas partes dele; se será necessário capturar a parte interior do objeto ou apenas seu formato exterior; se será necessária a captura das características relacionadas às cores originais do objeto; qual a dimensão total e possibilidades de acesso ao objeto; e ainda, se algum efeito óptico da luz pode interferir no resultado da digitalização, dependendo da técnica de captura empregada. Em suma, os seguintes itens:

- Objetos inteiros ou partes componentes;
- Formas internas, externas ou ambas;
- Cor (“textura”);
- Dimensão total;
- Qual o efeito da luz no material.

Como descrito por Gil-Melitón e Lerma Garcia (2019), há dois tipos de reflexos: os especulares, que ocorrem quando a luz incide sobre uma superfície lisa, como o espelho ou o metal polido; e os difusos, que são os que ocorrem quando a luz se reflete sobre uma superfície rugosa. Efeitos ópticos causados pela propagação da luz, ou incidindo sobre o material do objeto, são os que mais influenciam na captura 3D, tanto que há uma subdivisão de características relacionadas a ela:

- Refletância - o brilho do objeto;
- Transmitância - quão transparente é o objeto;
- Absorbância - o quanto a superfície absorve de luz.

Assim, não são apenas metais, vidros e acrílicos que são difíceis de serem digitalizados em 3D com sistemas ópticos. A maioria dos materiais possui algum grau de reflectância, como plásticos polidos que são altamente reflexivos.

Os sensores de digitalizadores 3D por triangulação dependem da reflexão da luz emitida, mas em superfícies transparentes ou translúcidas como vidros, acrílicos, resinas e plásticos translúcidos etc. isso não ocorre, pois, parte da luz incidente é refletida e parte é refratada, confundindo os sensores dos equipamentos. Objetos com superfícies metálicas geralmente são altamente reflexivas, causando a difusão da luz de forma desordenada, “ofuscando” os sensores dos digitalizadores, resultando em dados imprecisos. Alguns materiais, por sua vez, absorvem a luz, ao invés de refleti-la, é o caso de metais muito escurecidos ou superfícies de concreto pintadas de preto. Por esses motivos, os sistemas, que são baseados em reflexão da luz, considerados ópticos reflexivos, não conseguem obter os dados tridimensionais de geometria.

Como técnicas de mitigação desses efeitos, são utilizados revestimentos temporários opacos, como *sprays* especiais que evaporam, fitas crepe e pós finos removíveis, dependendo sempre da autorização prévia. Quando não é possível diminuir as interferências, se recorre à combinação com outras técnicas, como fotogrametria, que possibilita uma reconstrução 3D aproximada.

Há relatos na literatura do uso de métodos de captura usando sistemas emissivos, como no caso do uso de tomógrafos computadorizados, usados em projeto para digitalizar internamente a coleção criptográfica do Deutsche Museum (MUSEUM NEXT, 2023). Há também relato de uso de sistema com contato, em que foi usado um braço apalpador pontual (ponto-a-ponto) em combinação com técnicas de fotogrametria polarizada e digitalizadores de luz estruturada, que foram usadas para digitalização 3D do traje espacial usado da primeira expedição espacial tripulada (NASM, 2022). Nesse caso, a fotogrametria (técnica que utiliza fotografias) foi realizada para capturar as imagens coloridas da superfície em alta resolução.

Como no caso do telescópio não havia necessidade de captura da cor, não foi considerada a fotogrametria como opção primária. A fotogrametria possui outros requisitos e limitações quando se trata de superfícies reflexivas. A orientação principal é o controle da luz com o uso de difusores, e o uso de fundos constantes, como em estúdios portáteis e fundos infinitos, onde todos os reflexos serão uniformizados. Por vezes até a câmera fotográfica é refletida no objeto. Para a melhor captura da cor, é recomendado fazer um processo conhecido como “bater o branco”.

Na digitalização do telescópio, além do desafio imposto pela reflectância do material metálico e pela opacidade do concreto pintado de preto, somou-se o acesso físico dificultado, pois o instrumento tem quase 4 m de altura e mais de 2 m de comprimento na parte da luneta. A captura teve de ser realizada com o auxílio da escada utilizada para a observação.

3.3 Etapa 3 – Preparação dos recursos

Como visto, as características da materialidade do artefato devem ser levadas em consideração na definição dos recursos e processo de digitalização, pois influenciam diretamente no processo e resultados obtidos com a captura tridimensional.

Como existe uma gama muito grande de equipamentos e soluções de digitalização 3D e nenhuma atende a todas as necessidades em uma só, é importante ressaltar quais as necessidades que o equipamento disponível atende e quais recursos precisam ser alocados.

3.3.1 Escolha da tecnologia e equipamento

Grande parte das tecnologias de digitalização 3D usadas atualmente para a digitalização de objetos do patrimônio cultural, de acordo com a Share3D (2019), não demandam

contato físico do equipamento com o artefato, sendo essas tecnologias enquadradas na classificação de técnicas ópticas sem contato. É imprescindível para a maioria das interações com artefatos históricos, que não haja contato direto com eles, garantindo sua conservação.

Quando se utilizam equipamentos que projetam padrões calibrados de luz (pontos, linhas ou QR-Codes) sobre o objeto a ser digitalizado, se diz que esses equipamentos operam de forma ativa, pois estão emitindo energia em forma de luz. As distorções causadas pelas superfícies do objeto são capturadas com o auxílio de sensores, possibilitando assim a triangulação dos dados e captura das coordenadas de superfície do objeto, que pode ser tratada em softwares CAD e derivados. Ou seja, a forma do objeto é digitalizada para um sistema de computador.

Em digitalizadores que operam pelo princípio da Luz Estruturada (SL) são projetados padrões de faixas P&B alternadas, também chamados de franjas, sobre o objeto. Os sensores dos equipamentos registram e computam, a partir de softwares proprietários, a interseção das deformações desses padrões deformados, gerando coordenadas. As coordenadas juntas geram uma nuvem de pontos. Alguns digitalizadores SL portáteis, mais modernos, já calculam automaticamente o alinhamento das capturas, enquanto outros geram "retalhos" de cada captura, que precisam ser alinhados posteriormente. A partir da proximidade dos pontos nas nuvens de pontos, assim como acontece na maioria dos softwares de criação de malhas, são gerados os vértices em seguida as faces que compõem as superfícies poligonais (ou triangulares, a depender da configuração desejada).

Alguns equipamentos que utilizam o laser ou a luz estruturada já vem pré-configurados para fazer uso de objetos referenciais que auxiliam no alinhamento, também chamado de "etapa de registro", da captura. Esses objetos são conhecidos como "marcadores" ou "alvos".

A dimensão dos marcadores varia, alguns são como QR-Codes que geralmente são impressos em folhas A4 (mais comumente utilizados para captura de ambientes ou monumentos), enquanto outros chegam à dimensão inferior a 2 cm. O equipamento que possibilita a utilização do recurso costuma fornecer o marcador adequado. Conforme o relatório LNCS (2023) o uso de marcadores é considerado altamente preciso, no entanto, em larga escala requer uma etapa de planejamento adicional para atingir uma distribuição ideal, além de tempo para sua aplicação e remoção.

Embora seja um recurso eficaz, seu uso é restrito a uma parcela dos artefatos, pois tradicionalmente os marcadores são afixados com adesivos, o que impede sua utilização em boa parte de objetos de valor histórico. Como alternativa pode ser considerado o uso de outros objetos posicionados estrategicamente ao redor do artefato que será digitalizado. O principal cuidado nesse caso é garantir que os objetos secundários não interfiram na captura do artefato principal.

Digitalizadores a laser operam de forma diferente, porém os resultados são similares. A principal diferença é que o padrão de luz laser projetado sobre o objeto é pontual (ponto) ou em forma de linha (feixe). Esse sistema possui maior dificuldade para capturar cores. Cabe avaliar, conforme cada projeto, se há necessidade e possibilidade de captura de cor, a partir da tecnologia empregada, pois os custos podem variar significativamente.

Uma alternativa comum não só para a captura da cor, mas também para a obtenção das formas, é o uso da técnica de fotogrametria, baseada na tecnologia *Structure-From-Motion* (SFM) e *Dense Multi-View 3D Reconstruction* (DMVR). A fotogrametria é considerada um método passivo de digitalização 3D, pois não é necessária a emissão de nenhum tipo de energia. Ela se baseia na sobreposição de fotos tiradas de forma profissional e com minimização de sombras e reflexos. Programas computacionais específicos de fotogrametria calculam a sobreposição de pixels homólogos em fotografias, de preferência sequenciais, retornando nuvens de pontos que geram os modelos tridimensionais coloridos (3D ICONS, 2014). A manutenção da cor nessa tecnologia é essencial, pois auxilia na identificação de elementos similares.

A utilização de máquinas fotográficas profissionais ou semi-profissionais (DSLR) ainda garante melhores resultados se comparada a fotografias obtidas com as de *smartphones*. Porém a evolução dos aplicativos de digitalização 3D tem avançado, tanto é que já é possível inserir fotografias obtidas com máquinas fotográficas profissionais, na versão web desses aplicativos (Monteiro, Patzlaff *et al,* 2024). Essa tecnologia, atualmente, é a que fornece os resultados mais fiéis de reprodução de cores. Aliar a fotogrametria com outra técnica de captura de forma é um procedimento cada vez mais usual, possibilitando reconstruções de objetos complexos, que permitem tanto a reprodução formal, quanto a da cor.

De modo geral, os principais fatores que precisam ser equilibrados para um planejamento eficaz de projeto de digitalização 3D, conforme as diretrizes propostas no Share3D (2019) são:

- Custo do equipamento e software;
- Habilidades da equipe com o equipamento;
- Ambiente de trabalho (acesso, iluminação, temperatura);
- Precisão necessária (nível máximo registrado);
- Resolução necessária (distância mínima entre duas medições consecutivas);
- Possibilidade de reuso dos dados 3D (formatos livres ou proprietários);
- Tempo disponível para realização da captura 3D e pós-processamento.

Atualmente o método com melhor relação custo-benefício ainda é a fotogrametria, porém, obter resultados consistentes para digitalizar objetos complexos, demanda um alto grau de conhecimento relacionado a essa técnica, além do trabalho de pós-processamento inerente a qualquer uma das tecnologias escolhidas, mas mais extensivo quando é empregada a fotogrametria. Na captura das fotos, para inibir a transparência e reflexos em superfícies de vidro, acrílico etc. podem ser usados filtros especiais que polarizam a luz. Já para objetos metálicos, o ideal é reduzir a incidência de luz e ajustar a intensidade das cores posteriormente, ou seja, são requisitados conhecimentos avançados diferentes dos demandados para outras técnicas.

3.3.2 Combinação de técnicas

Há variações significativas nos resultados dos métodos. Para algumas situações é necessária a junção de técnicas para atender aos requisitos. Para a digitalização do traje espacial da primeira expedição tripulada à lua, por exemplo, realizada pelo Smithsonian em parceria com o National and Air Space Museum (NASM, 2022), foram empregadas três formas de digitalização: a captura a laser com braço apalpador pontual (ponto-a-ponto), a fotogrametria polarizada e a por luz estruturada. A fotogrametria foi realizada para capturar imagens coloridas de superfície de alta resolução, também foi realizada fotogrametria com polarização cruzada para diminuir a reflectância especular. Essa técnica captura a textura da superfície e facilita a re-iluminação do modelo 3D. A varredura com luz estruturada foi utilizada para capturar a geometria e a cor da superfície no "nível médio de detalhe". E a varredura com uso de braço apalpador a laser pontual foi utilizada para

capturar áreas mais detalhadas de alta resolução da geometria da superfície.

Como detalhado no editorial do NASM (2022), "a maior parte dos dados e informações de cor virá de fotogrametria extensiva e as varreduras estruturadas de luz e laser corrigirão detalhes importantes da geometria". Nesse caso, a iluminação do ambiente influencia nos resultados especialmente da fotogrametria, então quanto mais controlado puder ser, melhor.

Para auxiliar na seleção da tecnologia mais adequada para digitalizar instrumentos científicos, foi elaborado um quadro (Quadro 1) onde é possível avaliar de acordo com as possibilidades de recobrimento, a tecnologia mais adequada. Para esse quadro não são considerados o cronograma nem o orçamento. São levadas em consideração apenas a necessidade de captura ou não da cor e a possibilidade de interação com o objeto, visando minimizar os reflexos. Síntese das tecnologias:

- Tecnologias ópticas reflexivas: digitalizadores por luz estruturada ou laser;
- Tecnologias ópticas passivas: imagens obtidas de fotografias ou vídeos

3.3.3 Calibração do equipamento

O equipamento utilizado para a captura do Telescópio Pazos foi um digitalizador de mão, modelo Peel 2 (Figura 3a), que opera pelo princípio da luz estruturada. Esse equipamento permite a digitalização com o auxílio de alvos (marcadores), que como mencionado anteriormente, auxiliam especialmente na captura de superfícies lisas e formas repetitivas.

Aparelhos portáteis necessitam de calibração devido a possíveis interferências ocasionadas durante o seu transporte. Além disso, é necessária uma calibração para cada variação de precisão desejada, gerando malhas mais ou menos detalhadas. Nesse caso, o processo foi realizado com duas precisões diferentes, necessitando duas calibrações. A parte superior do instrumento foi digitalizada com maior precisão, sendo empregado o valor 0,5mm, enquanto que na parte inferior foi utilizada a precisão de 0,8mm.

Como apontado no relatório da *European Comission*, "em um mundo ideal, quanto mais medidas forem tomadas, melhor a precisão e, portanto, menor o erro", porém, atualmente, alguns equipamentos saturam com grande quantidade de dados quando são redundantes, gerando um arquivo muito pesado e com excesso de informações sobrepostas e confusas. Portanto, adequar a resolução ao objeto a ser digitalizado, logo no início do processo, implicará em melhores resultados do que aumentar a quantidade de "passadas" do digitalizador sobre o objeto.



Figura 3 (a) digitalizador Peel 2; (b) processo de calibração (Fonte: elaborado pelos autores).

Quadro 1 Matriz para seleção de tecnologia. Fonte: Elaborado pelos autores).

Interação possível com objeto	Recobrir com pó	Aplicar adesivos	Aplicar marcadores	Iluminação especial
Forma externa	Pode	Pode	Pode	Métodos ópticos reflexivos: não Métodos ópticos passivos: sim
Externa + cor	Não pode	Remoção digital posterior	Pode	Métodos ópticos reflexivos: não Métodos ópticos passivos: sim

No caso da digitalização do telescópio Pazos, foi necessária e autorizada a aplicação de pó para diminuir o efeito reflexivo do metal, além da aplicação esparsa de alvos marcadores.

3.4 Etapa 4 – Captura digital dos dados físicos

No caso de tecnologias ativas reflexivas, inicia-se o processo sem nenhum tipo de recobrimento do objeto. Somente após a constatação da necessidade é que se buscam alternativas. Com a autorização da instituição foi aplicado pó branco removível nas superfícies metálicas e na estrutura de concreto, possibilitando a captura das formas. O maior ponto negativo ao se recobrir a superfície, é o fato de se perder as características de cor originais, demandando outras formas de combinação para sua reconstrução.

Com o início do processo, alguns fatores, como a dimensão e acesso da parte mais alta, o detalhamento necessário e a lentidão do processo provocada pelas dificuldades em capturar as superfícies reflexivas mesmo recobertas, influenciaram na decisão de dividir o processo de digitalização em dois arquivos de captura distintos, combinados no próprio software do equipamento, posteriormente, na etapa chamada de pós processamento.



Figura 4 Resultado do processo após aplicação de fita sobre superfícies transparentes e/ou reflexivas. (Fonte: elaborado pelos autores)

Foi necessária a utilização de escada para a realização da segunda captura, pois o equipamento portátil não dispõe de trava que possibilite a captura com uso de tripé extensor. A distância recomendada entre o equipamento e o artefato, segundo recomendações desse fabricante é entre 24 e 45 cm do artefato. O processo da captura 3D durou um dia comercial (em torno de 8 horas) e demandou o trabalho de 2 operadores experientes com um equipamento, já que capturas concomitantes interferiram um na captura do outro equipamento.

O primeiro arquivo compreende a base e o pilar de sustentação, com parte da estrutura da caixa de engrenagens, que fica acima do centro do instrumento. Para garantir a sobreposição com o primeiro arquivo, a segunda captura (Figura 4) foi iniciada por parte já digitalizada no primeiro arquivo, na caixa de engrenagens, abrangendo também toda a estrutura superior da luneta.

3.5 Etapa 5 – Pós-processamento da malha

Após o processamento das coordenadas de pontos foram geradas as superfícies geométricas que compõem o volume do objeto, chamadas de malha poligonal (*polygonal mesh*). Nesse caso a "textura" (cor) foi capturada como ferramenta auxiliar para o processo de digitalização 3D, pois é característica do equipamento utilizar tal recurso. No entanto, ao longo do pós-processamento essa característica foi suprimida, já que não era necessária para o produto final, além de implicar em esforço extra para sua manutenção. Nem todos os equipamentos digitalizadores capturam a cor.

Na etapa de pós-processamento, é feita a remoção de ruídos (partículas soltas e deformações), além do fechamento de buracos na malha, indicados pela marcação rosa na Figura 5, denominadas de *fronteiras* no software proprietário utilizado.



Figura 5 Visualização do m**odelo gerado pela digitaliza**ção 3D, **antes da etapa do pós-processamento. Em rosa,** os buracos ou **fronteiras.** (Fonte: elaborado pelos autores)

3.6 Etapa 6 – Adequação geral do modelo 3D

Os modelos gerados pela maioria dos processos de digitalização 3D, mesmo após as etapas de pós-processamento (limpeza de ruídos e preenchimento de buracos) apresentam redundâncias de elementos (vértices, triângulos, faces), tornando-o . Geralmente é feita uma cópia do arquivo original e em seguida é feita a remoção de dados redundantes e a reorganização dos polígonos da malha, via decimação (*decimation*) até se chegar a um resultado ótimo. O modelo nesse momento é chamado de modelo de alta resolução, *ou high poly*.

O arquivo *high poly,* é um tipo de arquivo pesado, pois é um arquivo em alta resolução, possuindo uma grande quantidade de detalhes, algumas vezes desnecessários. Manusear esse tipo de arquivo aumenta o tempo de processamento necessário para qualquer edição ou simples manipulação digital. A partir de modelos *high poly* é possível gerar variações com menores quantidades de polígonos e, portanto, mais leves, passíveis de serem inseridos em ambientes virtuais mais dinâmicos.

A redução da malha poligonal é chamada *decimation*. Já a reorganização dos polígonos é chamada de retopologia. Esses processos facilitam a manipulação do modelo, o que torna seu uso mais eficaz. Conforme Beckel *et al*. (2010), a redução dos pontos deve ser gradativa, sendo recomendada uma faixa em torno de 15%. A redução varia conforme a necessidade do produto final, quanto maior o detalhamento desejado, menor a redução.

Devido ao objetivo do projeto de digitalização do telescópio não demandar um modelo com alta resolução, foi realizado o processo *decimation* da malha do modelo, tornando o arquivo mais leve e mais simples de manipular. Na Figura 6, pode ser observada a malha otimizada, onde os polígonos têm dimensão maior em áreas planas, ou seja, onde não há necessidade de detalhamento de forma. Na imagem da direita está visível a malha e na visualização da esquerda, a nuvem de pontos (*point cloud*), ambos do mesmo modelo.

Para fins de comparação, o número de triângulos dos modelos iniciais somados é de 10.207.400 e o modelo final simplificado ficou com 3.541.250 triângulos. Já a contagem de vértices diminuiu de 5.360.000 para 1770.700 vértices. Como a captura foi feita em duas partes, para nossa contagem o ideal seria desconsiderar a redundância entre os triângulos e vértices sobrepostos, necessários para o alinhamento e fusão.

Por fim, o modelo foi exportado em formato .obj + textura em .png. O formato de exportação varia de acordo com o uso pretendido, quando é necessária a manipulação das cores (textura), o formato de exportação, para esse equipamento específico é o OBJ (com imagem da textura em PNG ou BMP), enquanto que, para uma representação da forma, basta o STL.

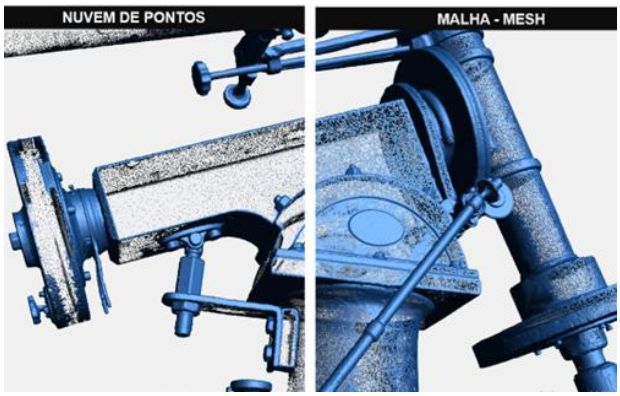


Figura 6 Modelo visto em nuvem de pontos e malha poligonal. (Fonte: elaborado pelos autores)

3.7 Etapa 7 - Saída: prototipagem física ou digital

Essa etapa não consta como parte do protocolo principal, mas fez parte do estudo de caso, pois o processo pode variar conforme a necessidade de cada projeto. Após a conclusão do pós-processamento e adequação do modelo 3D ao tamanho mínimo possível para a finalidade do projeto, deu-se início à fase de planejamento da impressão 3D das miniaturas. A escala do modelo para o objeto real foi de 1:20 e 1:40, assim, muitos detalhes seriam imperceptíveis na impressão. A espessura de parte dos tubos, correntes e gancho teve de ser adaptada pois não ficariam muito frágeis.

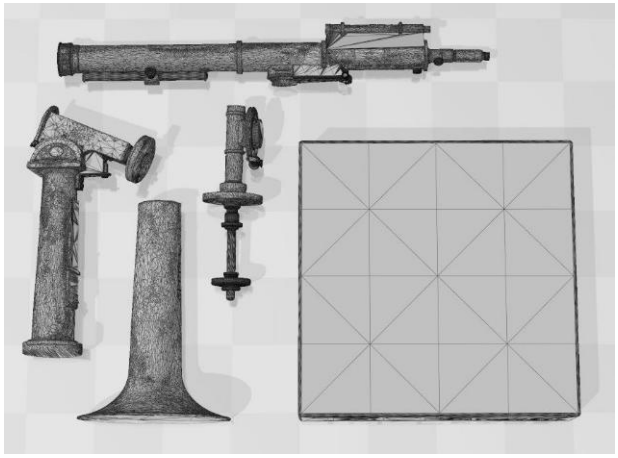


Figura 7 Divisão realizada no modelo digital para impressão 3D. (Fonte: elaborado pelos autores)

A primeira etapa do processo foi a redução da malha, já na escala pretendida. Em seguida, após a apresentação do resultado digital e das restrições da impressão, foi definido pelo grupo de trabalho que alguns elementos seriam remodelados com dimensões proporcionalmente maiores do que as que representariam o objeto em escala reduzida. Para isso, foram realizadas a simplificação ou retirada de elementos do modelo 3D.

.



Figura 8 **(a)** Captura de tela de m**odelo digitalizado, sem tratamento; (b)** Modelos impressos em 3D, nas escalas 1:40 e 1:20. (Fonte: Captura de tela do software Peel e fotografia dos autores)

Foi definido pelo grupo de trabalho que a base arredondada, originalmente de concreto, seria substituída por uma estrutura retangular plana com superfícies laterais de altura suficiente para inscrição do nome e ano de fundação da instituição, sigla da universidade e nome do instrumento.

Para a impressão 3D, as bases foram impressas separadamente em filamento plástico PLA, com a marcação

para a colagem do restante da estrutura do telescópio posteriormente.

A réplica de 20 cm foi impressa pelo processo de FDM, em filamento PLA. Pela forma e dimensão do modelo, a miniatura teve de ser subdividida em 4 partes, para facilitar o processo e diminuir o tempo total gasto. Imprimir modelos complexos em peça única, em PLA, demanda maior uso de "suportes" (filamento), o que dificultaria sua limpeza e acabamento, e maior tempo de impressão, tornando o processo mais suscetível a falhas. Cabe avaliar inicialmente se a bandeja da impressora 3D comporta o tamanho da peça. Assim, na Figura 7 pode ser vista a divisão da réplica de 20cm do telescópio. A divisão em cinco partes otimizou o processo de impressão 3D. A divisão foi planejada com equipe especializada em impressão 3D, avaliando a colagem posterior das partes.

Para a impressão da réplica de 10 cm foi utilizada uma impressora SLA (solidificação a laser), que produz modelos de resina, portanto a peça pode ser impressa de uma única vez, inclusive foi possível imprimir várias peças ao mesmo tempo. O processo de impressão em resina permite produzir peças mais lisas e com maior resolução/detalhamento se comparado com os modelos gerados via impressão de filamentos plásticos, com impressoras do tipo FDM.

O render da Figura 8a apresenta o modelo, antes do processamento da malha; já a Figura 8b apresenta a impressão 3D física das réplicas. De acordo com De Souza e Machado (2019), uma das grandes contribuições dos acervos digitais culturais é a multiplicidade de acessos e consultas ao item ao mesmo tempo e de diferentes lugares ao redor do mundo. Com o avanço das tecnologias de prototipação física e criações digitais, aliadas à maior divulgação via exposições imersivas, "a verdade é que não há um limite de serviços que possam ser idealizados e realizados com estes materiais". A digitalização de artefatos científicos permite que esses modelos sejam utilizados em tantos serviços quantos forem pensados pela equipe das instituições detentoras ou demandados pela comunidade usuária da informação.

O objeto impresso em 3D não encerra as possibilidades do modelo digitalizado em 3D. A partir do objeto digital é possível expandir para diversas criações. A Figura 9 mostra a captura da tela do modelo 3D no visualizador 3D do site Sketchfab. Foram incluídas duas anotações ancoradas em pontos estratégicos do modelo: a primeira indica a luneta em si, com as lentes e os mecanismos ópticos e a segunda indica a base sob a qual se está posicionada toda a estrutura equatorial do instrumento. Se houvesse mais notas, seria possível navegar sequencialmente a partir das mesmas.

No visualizador do Sketchfab, é possível rotacionar o objeto 3D em todas as direções além de ampliar o modelo com a ferramenta de zoom para observar detalhes que poderiam passar despercebidos presencialmente no modelo físico de cerca de quatro metros de altura.

A ferramenta de visualização com o modelo 3D pode ser inserida em outro site, por meio do comando "*embed*". A adição da visualização em sites pode ser feita diretamente em plataformas como Wordpress, ou via HTML.

Focando na interoperabilidade, optamos pelo repositório 3D do Sketchfab, recomendado pelo grupo que administra a Plataforma Tainacan (ferramenta web atualmente utilizada para integração em rede dos acervos brasileiros pelo Ibram - Instituto Brasileiro de Museus).

4. CONCLUSÕES E DESDOBRAMENTOS

A sequência de passos proposta no protocolo para a digitalização 3D de instrumentos técnico-científicos, a partir do estudo de caso do Telescópio Pazos, deverá ser aplicada a outros projetos futuros para verificar sua possibilidade de generalização.

A literatura levantada forneceu diretrizes reconhecidas e adaptadas às particularidades dos artefatos, embasando o processo que integra aspectos técnicos e projetuais.



Figura 9 Modelo 3D do Telescópio Pazos no Sketchfab. (Fonte: captura de tela dos autores).

O processo de digitalização de instrumentos científicos históricos que possuem superfícies metálicas reflexivas e componentes transparentes exige a adaptação das metodologias e técnicas. O uso de digitalizadores a laser e técnicas de fotogrametria foi ajustado para garantir resultados satisfatórios, considerando as limitações impostas pelas propriedades físicas dos materiais. É essencial saber as possibilidades das tecnologias disponíveis, permitindo assim a identificação de soluções mais adequadas para atender às necessidades específicas de cada artefato. Essa abordagem permite não apenas a otimização dos recursos e do tempo, mas também assegura que a captura digital seja realizada respeitando as características únicas de cada objeto.

O protocolo estabelecido integra aspectos técnicos e projetuais e pode ser adaptado para diferentes tipos de instrumentos científicos históricos. A identificação das especificidades de cada objeto e a definição clara dos requisitos técnicos são etapas cruciais que podem ser transferidas para a digitalização de outros instrumentos científicos, como microscópios e lunetas.

A abordagem colaborativa adotada no processo de digitalização enfatiza a importância do design projetual na definição dos objetivos e na adaptação das metodologias às características dos objetos. A integração de conhecimentos diversos enriquece o resultado e garante que as soluções propostas sejam inovadoras e eficazes. O alinhamento prévio das expectativas entre os envolvidos foi crucial para otimizar recursos e tempo, permitindo uma captura digital que prioriza a precisão necessária sem comprometer a qualidade do modelo 3D.

Os resultados obtidos com a digitalização 3D não apenas promovem a preservação, mas também abrem novas possibilidades para celebrar e educar sobre o legado científico, permitindo que as gerações atuais e futuras se conectem com a história de maneira significativa. A definição clara dos requisitos técnicos desde a fase inicial é essencial para evitar

retrabalhos e garantir uma maior eficácia do processo. Assim, o protocolo sugerido neste estudo não apenas contribui para a preservação do legado científico, mas também poderá servir de embasamento para a criação de um guia prático para designers e instituições que buscam integrar tecnologias de digitalização 3D de Instrumentos Científicos Históricos dentro do campo da preservação de artefatos técnicos do patrimônio. Além disso, é fundamental continuar explorando as inovações tecnológicas que possam melhorar ainda mais a precisão da digitalização e expandir as possibilidades de interação e educação sobre o patrimônio cultural científico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

1. 3D-ICONS. Guidelines and Case Studies. *In*: MCCARTHY, I. (org.). 3D Icons: Paceprint, Shaws Lane, Sandymount, Dublin 4, Ireland, 2014.
2. ARAÚJO, B. M. de; RIBEIRO, E. S.; GRANATO, M. Carta do Patrimônio Cultural de Ciência e Tecnologia: produção e desdobramentos. Cadernos do Patrimônio da Ciência e Tecnologia: instituições, trajetórias e valores. 2017. Disponível em: http://site.mast.br/ivspct/programacao.html%0Ahttp://site.mast.br/hotsite_cadernos_do_patrimonio_da_ciencia_e_tecnologia/index.html. .
3. CAPTURING REALITY. NASA Space Shuttle Discovery 3D scanned using Reality Capture. 2020. Disponível: <https://www.capturingreality.com/nasa-space-shuttle-discovery-3d-scanned> Acesso em: 10 set. 2023
4. CAMPOS, J. A. S. de. Telescópio Equatorial "Pazos" do Observatório do Valongo: origem e trajetória. Revista Scientiarum História, 1(1)12. 2017. https://doi.org/10.51919/revista_sh.v1i1.151>
5. CAMPOS, J. A. S. de. As "Officinas de Optica e de Instrumentos Scientificos" de José Hermida Pazos e o Telescópio Equatorial do Observatório do Valongo. Khronos, 15, pp 52–83, 2023. https://doi.org/10.11606/issn.2447-2158.i15p52-83
6. CO-CREATE, Consortium. The co-create handbook: for creative professionals. 2019 Disponível: <http://www.cocreate.training/2019/03/http://www.cocreate.training/2019/03/15/the-co-create-handbook-for-creative-professionals-is-now-online/ > Acesso em: 10 set. 2023
7. DE SOUZA, E. M, MACHADO, E. N. Rede web de museus: Relato de experiência na gestão e acesso aos acervos culturais do Estado do Rio de Janeiro. PragMATIZES - Revista Latino-Americana De Estudos Em Cultura, (16), pp 74-90, 2019. https://doi.org/10.22409/pragmatizes.v0i16.27513.
8. EUROPEAN COMMISSION. Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines: final study report. Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. Publications Office of the European Union. 2022. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2759/471776> Acesso em 20 dez. 2023
9. EUROPEANA PRO. Twin it! 3D for Europe's culture: A call to EU Member States for a pan-European collection of 3D-digitised heritage assets. 2023.
10. GIL-MELITÓN, M.; LERMA, J. L. Patrimonio histórico militar: digitalización 3D de la espada nazarí atribuida a Ali Atar. Virtual Archaeology Review, v. 10, n. 20, p. 52, 2018.
11. LNCS. 3D Research Challenges in Cultural Heritage III (M. Ioannides & P. Patias (eds.); Vol. 13125. Springer International Publishing. 2023 https://doi.org/10.1007/978-3-031-35593-6.
12. MAST. 200 anos de ciência e tecnologia no Brasil: um olhar a partir dos artefatos. Museu de Astronomia e Ciências Afins. [2023] Disponível em: <http://www.mast.br/museu/nova-exposicao-do-mast-retrata-o-desenvolvimento-tecnologico-e-cientifico-do-brasil-por-meio-de-objetos-historicos/ Acesso em: 10 set. 2023
13. MUSEUM NEXT. Case Closed? The Utilisation of CT Technology In The Museum. 2023. Disponível em: <https://www.museumnext.com/article/utilisation-of-ct-technology-in-the-museum/>. Acesso em: jul. 2023.
14. NASM. Conserving and Digitizing Alan Shepard's Mercury Freedom 7 Suit. National Air and Space Museum. 2022. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/stories/ editorial/conserving-digitizing-shepard-suit> Acesso em: 20 dez. 2023
15. PATZLAFF, C. Patrimônio em 3D: Recomendações de boas práticas para a Digitalização 3D de Instrumentos Científicos Históricos (DICH). 2026. Tese (Doutorado em Design) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, 2026. Não publicada.
16. PATZLAFF, C.; CAMPOS, J. A. Escaneamento 3D do Telescópio Pazos do Observatório do Valongo. Palestra. Feira LER. 2022. Rio de Janeiro, 21 slides. Apresentação em PowerPoint.
17. ROSSENOVA, L. IIIF for 3D: making web interoperability multi-dimensional. Europeana Pro. 2023. Disponível em: <https://pro.europeana.eu/post/iiif-for-3d-making-web-interoperability-multi-dimensional> Acesso em: 10 set. 2023
18. SANTOS, C. P. dos; LOUREIRO, M. L. de N. M. A Documentação museológica das coleções de ciência e tecnologia em ambiente digital - caso MAST. In: Anais...2016 pp 135-157, 2016. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/museologia/article/view/34816/30818>.
19. SHARE 3D. Share 3D Guidelines. 2019. <https://carare.gitbook.io/share-3d-guidelines/>
20. T. COOKE & SONS. Catalogue of Astronomical Instruments 1886. York, England: Ben Johnson and Company, Printers, Micklegate, 1886. Disponível em: <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/52498/imagepages/image8.htm>. Acesso em 02 jan. 2024.
21. VOLPATO, Neri. Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D. São Paulo: Editora Blucher, 2021.