

DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D DE CRÂNIOS PRÉ-HISTÓRICOS

SCANNING AND 3D PRINTING OF PREHISTORIC SKULLS

Maurílio Amâncio Moraesⁱ

Pablo Borba de Barros Goesⁱⁱ

Paulo Martin Souto Maiorⁱⁱⁱ

Sérgio Francisco Serafim Monteiro da Silva^{iv}

Resumo O processo de digitalização e impressão em 3D é uma ferramenta que pode ser utilizada na Arqueologia para a criação de um banco de dados em 3D de peças históricas, a fim de ajudar na sua preservação. Com o objetivo de verificar a possibilidade de realizar esse processo em peças mais complexas foi escolhido o crânio de um esqueleto conhecido como Zuzu, que apresenta diversos danos por quebras antigas e recentes e que teve que passar por um processo de reconstituição. Realizou-se o escaneamento e a impressão do crânio, onde foi possível verificar, na reprodução, diversos detalhes da peça, tais como as fraturas e partes do material usado na sua reconstituição, mostrando a eficiência desta técnica. **Palavras-Chave:** Arqueologia, digitalização 3D, impressão 3D, Crânio.

Abstract: 3D scanning and printing is a tool that can be used in archeology to create a 3D database of historical pieces, to contribute to their preservation. To verify the possibility of carrying out this process in more complex pieces, the skull of a skeleton known as Zuzu was chosen, which presents several damages due to old and recent breaks and which was reconstituted. The skull was scanned and printed, where it was possible to verify in the reproduction several details of the piece, such as fractures and material used in the reconstitution of the piece, showing the efficiency of this technique. **Keywords:** Archaeology, 3D Scanning, 3D Printing, Skull.

ⁱ Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: maurilio.moraes@ufpe.br

ⁱⁱDiscente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: pablo.goes@ufpe.br

ⁱⁱⁱDocente do Departamento de Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: pmsmaior@yahoo.com

^{iv}Docente do Departamento de Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: sergio.serafim@ufpe.br

Introdução

A utilização de escaneamento e impressão em 3D já é um procedimento difundido em diversas áreas, tais como engenharia, computação e medicina. Sendo esta uma ferramenta que também pode ser utilizada na Arqueologia para a criação de um banco de dados em 3D de peças históricas, a fim de ajudar na preservação desse patrimônio cultural.

O escaneamento 3D ou digitalização 3D é o processo utilizado para criar arquivos digitais a partir de objetos físicos. Existem diversos modelos de equipamentos que podem ser empregados nessa função, onde cada um deles apresenta diferentes benefícios, limitações e custos.

De modo geral os scanners 3D se dividem em duas categorias: Scanner de Contato e não Contato. O scanner de contato precisa estar em contato direto com o objeto digitalizado. Enquanto o de não contato normalmente utiliza laser ou radiação (como raios-X ou ultrassom) para digitalizar o objeto, sendo este, em muitos casos, o tipo mais indicado de se utilizar na Arqueologia, a fim de não danificar as peças históricas.

Entre os equipamentos digitalizadores existem aqueles portáteis e os de bancada, como o que foi utilizado na digitalização dos crânios. Embora o princípio de funcionamento seja distinto, em todos os processos de digitalização 3D é obtida uma nuvem de pontos caracterizada por um conjunto de coordenadas posteriormente transformada em uma extensão que pode ser lida em programas de tratamento de imagens (Freitas, 2006). Entre os crânios digitalizados foi escolhido aquele pertencente ao esqueleto conhecido como “Zuzú” para a impressão em 3D.

Descrição do Crânio Zuzú

O esqueleto foi localizado no sítio Toca dos Coqueiros (8.8385074° Sul, 42.5626990° Oeste, Baixão das Mulheres, Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil), no sepultamento 1, com datações entre 9.870 + 50 BP (carvão - Beta 109844) e 9.603 cal anos BP (esmalte dentário - Beta 536529). Segundo Menéndez et al (2022), caracteriza-se como uma deposição funerária simples, a única localizada e escavada neste sítio.

Depositado em decúbito lateral esquerdo, o esqueleto encontrava-se fletido, com membros superiores fletidos e membros inferiores hiperfletidos. Logo após a sua evidenciação em substrato com blocos líticos, os ossos foram impermeabilizados superficialmente com polímero

diluído em acetona pura e recoberto por uma camada de silicone para moldagem. Uma das réplicas do sepultamento está em exposição no Museu do Homem Americano, em São Raimundo Nonato, Piauí. O crânio encontra-se em exposição no Museu da Natureza, Piauí.

Conhecido como “Zuzú”, o esqueleto tem sido objeto de pesquisas científicas e divulgações em vários tipos de textos desde a sua descoberta. As primeiras notas sobre este sepultamento foram publicadas por Guidon et al (1998). O esqueleto foi objeto de estudo a partir dos seus dados bioantropológicos preliminares por Lessa & Guidon (2002) e Nelson (2005). Uma descrição genérica dos sítios com esqueletos na Serra da Capivara foi feita por Strauss et al (2018), que incluiu a Toca dos Coqueiros. O dilema sobre o sexo biológico binário cromossomal de “Zuzu” estendeu-se de Nelson (2005) a Haas et al (2020) e Menéndez et al (2022). Estudos sobre afinidades morfológica e morfométrica e achado anatômico raro foram publicados em Hubbe et al (2007), Kerner et al (2020) e Menéndez et al (2022), entre outros.

O esqueleto de “Zuzú” encontra-se sob a guarda da Fundação Museu do Homem Americano (Fumdhm), na Reserva de Vestígios Orgânicos. Na superfície dos ossos longos, ossos do quadril, sacro, crânio e mandíbula, observa-se presente material consolidante, possivelmente composto de uma resina termoplástica (Paraloid B-72 da Rohm and Haas ou similar) dissolvida em acetona pura (PA), que oferece um brilho e dureza aos vestígios. Por outro lado, a potencialidade de degradação de biomoléculas pela PA não deve ser ignorada, assim como lavagem e consolidação, que danificam a análise de DNA, isótopos e C14 para datação (López-Polín, 2012).

O crânio, amostra selecionada para este estudo, apresenta danos por quebras antigas e recentes. Um esquema (Figura 1) mostra as linhas de quebras (não fraturas). O processo de reconstituição, dentro de um procedimento de conservação curativa, considerou os principais arcos ou pilares - áreas de resistência do esqueleto da face e do neurocrânio - de sustentação do esqueleto da cabeça, como por exemplo os arcos zigomáticos. Foi priorizada a colagem de fragmentos que pudessem facilitar a localização dos principais pontos craniométricos. Na reconstituição foram priorizados os pilares canini, zigomático e pterigóideo. No neurocrânio, foram priorizados os pilares frontonasal, zigomáticos vertical e horizontal, pilar anterior transversal, pilar pterigóideo, pilar médio longitudinal e pilar transversal posterior. O arco do palato duro conecta todos os pilares.

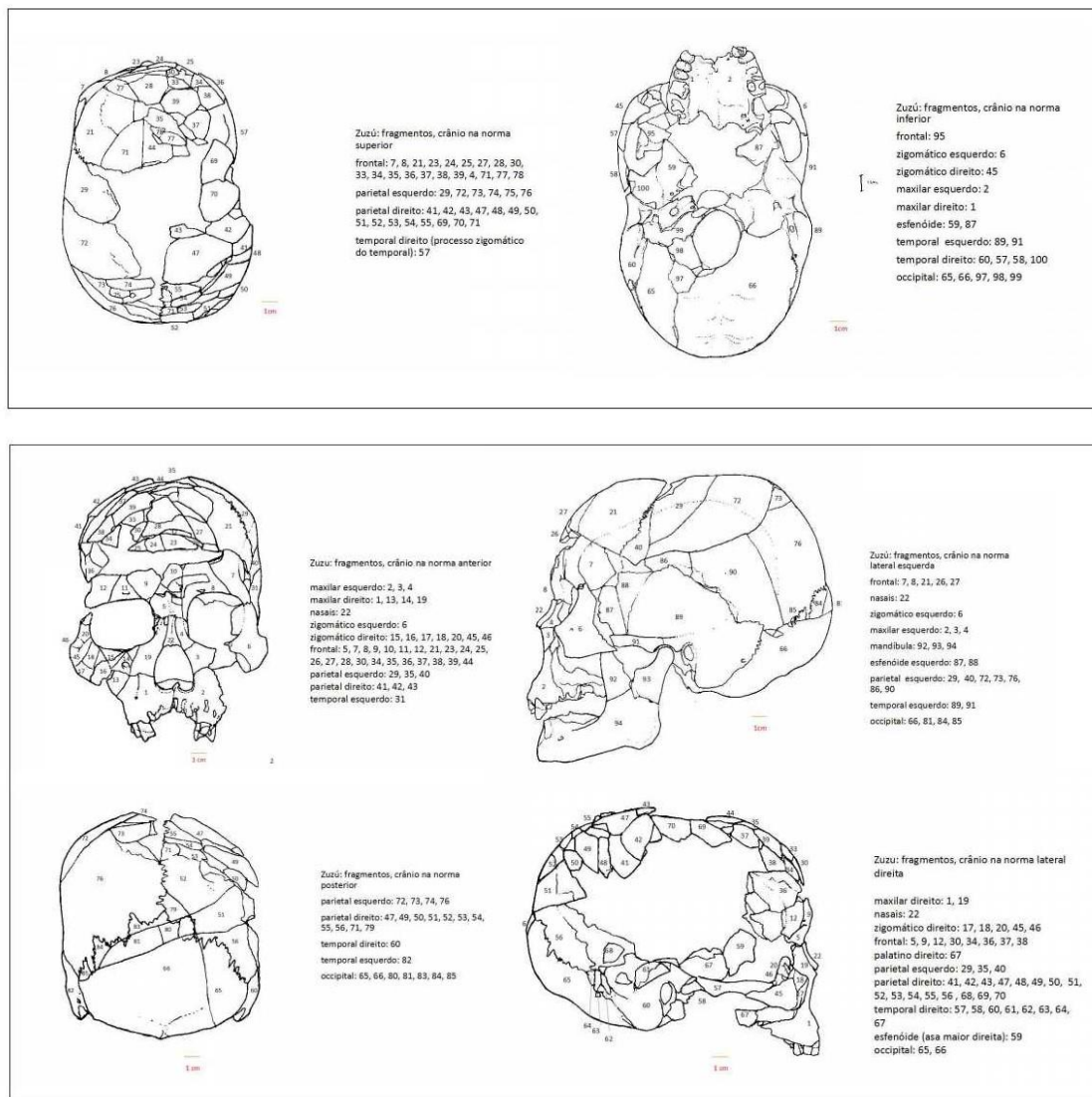


Figura 1: Fragmentos numerados por osso para aproximação cromática da réplica do crânio de "Zuzu". A - Crânio nas normas anterior, lateral esquerda, posterior e lateral direita; B - crânio nas normas superior e inferior.

“Zuzu” foi moldado diretamente com silicone nas superfícies do lado direito do crânio e mandíbula, em conexão anatômica, durante a sua evidência em campo. A posteriori, os fragmentos cranianos e da mandíbula, consolidados, foram colados e apoiados com pequenas estacas de madeira. Em 2017 realizou-se a colagem de um fragmento de processo coronóide esquerdo da mandíbula e porção da maxila esquerda, ainda não reconstituídos.

O escaneamento 3D do crânio e da mandíbula, com a subsequente renderização das imagens, representa uma nova perspectiva para a obtenção de medidas cranianas, incluindo as de subtenses, que até então raramente eram obtidas, pela necessidade do paquímetro de coordenadas, palatômetro e mandibulômetro (da GPM Anthropological Instruments - DKSH).

Em 2022, o crânio e a mandíbula de “Zuzú” foram tomografadas em TC3D, Tomógrafo marca Philips Ingenuity core 128 canais, com cortes máximos de 0,67mm e incremento (distância entre cortes) de 0,35 e 0,1mm.

Procedimento e Equipamentos para Escaneamento e Impressão 3D

Para a digitalização dos crânios foi utilizado o scanner de mesa Einscan SP da empresa Shining 3D que utiliza luz branca para a digitalização, o controle do escaneamento foi realizado através do software EinScan V3.1, e, por fim, o tratamento da imagem foi feito com o software Solid Edge 2021 da Siemens.

Modelo do Scanner

O Einscan SP é um Scanner 3D de mesa com plataforma giratória que emprega luz branca na digitalização 3D. Desta forma, ele pode digitalizar todos os lados do objeto formando um modelo fechado de 360°. Os resultados podem ser exportados para os formatos comuns de arquivo 3D (OBJ, STL, ASC) e processados em outros aplicativos. O equipamento permite a digitalização com captura em cores, inclusive a capacidade de captar a textura dos objetos scaneados.

Software usado para digitalizar as peças e tratamento da imagem

O *Software* utilizado foi o EinScan Software V3.1, que possui um sistema de alinhamento e junção da malha dos objetos digitalizados. Antes da impressão da malha, o modelo necessita de um pré-tratamento para obter uma melhor resolução dos detalhes. Para tanto foi utilizado o software Solid Edge 2021, que permite a criação de projetos 3D, simulação, manufatura, gerenciamento de dados, entre outros.

Impressão dos crânios

O processo de impressão 3D do crânio foi feito em camadas, seguido da lavagem química da peça impressa para retirar resquícios da resina. Posteriormente a cura da peça foi realizada com UV para melhorar sua resistência e, por fim, foi feita a remoção dos suportes gerados e o polimento e acabamento superficial da peça.

Processo de escaneamento de um crânio

O processo de digitalização dos crânios foi realizado com os parâmetros de entrada mostrados na Tabela 01. Como não é possível captar todos os pontos da malha que irão formar a imagem em 3D do crânio pelo scanner em apenas uma posição, é necessário fazer a captação da imagem em três leituras. Inicialmente, na posição mostrada na Figura 2 para a obtenção das imagens frontais, laterais e posterior do crânio. Em seguida o crânio foi colocado na posição vertical com o auxílio de um suporte para a obtenção dos detalhes das partes inferior e superior (Figura 03). Por fim a mandíbula foi digitalizada em separado (Figura 4).

Após a digitalização das três partes a junção das malhas foi efetuada por meio do software EinScan V3.1, conforme mostrado na Figura 5.



Figura 2: Exemplo de escaneamento de um crânio do sítio Pilar, para captação das vistas frontais e laterais pelo scanner 3D.



Figura 3: Exemplo de escaneamento de um crânio do sítio Pilar, para captação da vista superior e inferior pelo scanner 3D.



Figura 4: Exemplo de escaneamento de um crânio do sítio Pilar, para captação da mandíbula pelo scanner 3D.

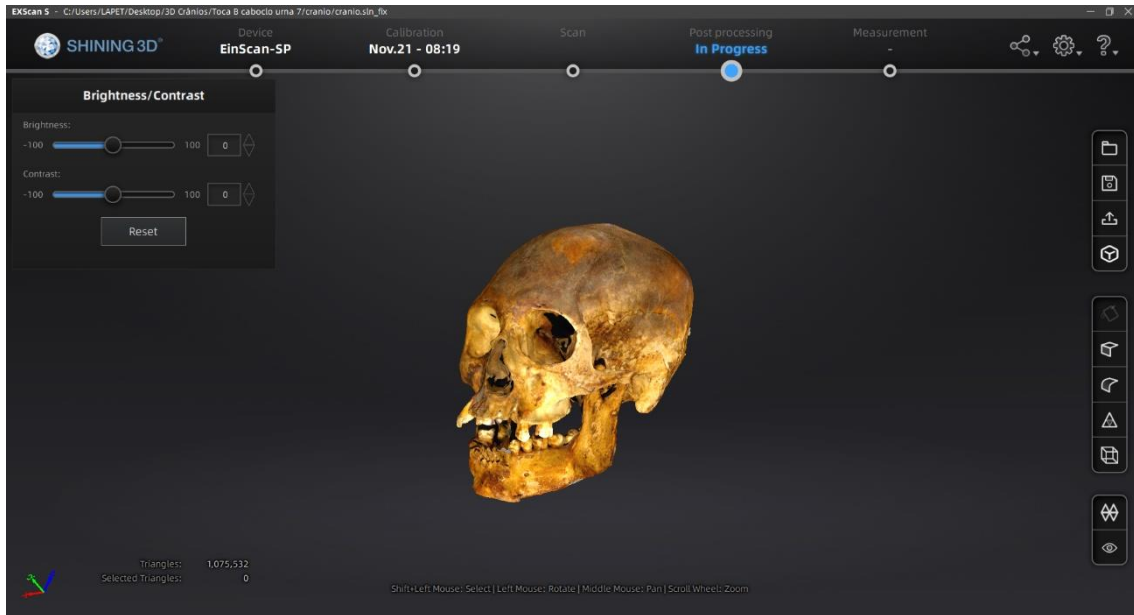


Figura 5: Exemplo de escaneamento de um crânio com textura através do software EinScan Software V3.1.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na digitalização dos crânios

Scan Setting	
HDR	On
With Turntable	On
Align Mode	Turntable Align
Turntable steps	8
Turntable steps	6

Correção e manipulação da malha

Antes de realizar a impressão do crânio em 3D é necessário realizar a correção e fechamento da malha gerada durante a digitalização. Esse processo é feito com a utilização de um software de edição gráfico 3D. É possível verificar, ao abrir o objeto, problemas existentes nas malhas e sua localização, tais como pontos não conectados entre si, erros na geometria interna da peça, frestas abertas na malha, vértices duplicados entre outros. Nestes casos é necessário realizar as correções na malha através do software antes de realizar a impressão. A espessura da peça também é indicada pelo operador, sendo assim, necessária a medição da espessura do crânio com um paquímetro para a obtenção desse dado (Figura 7).

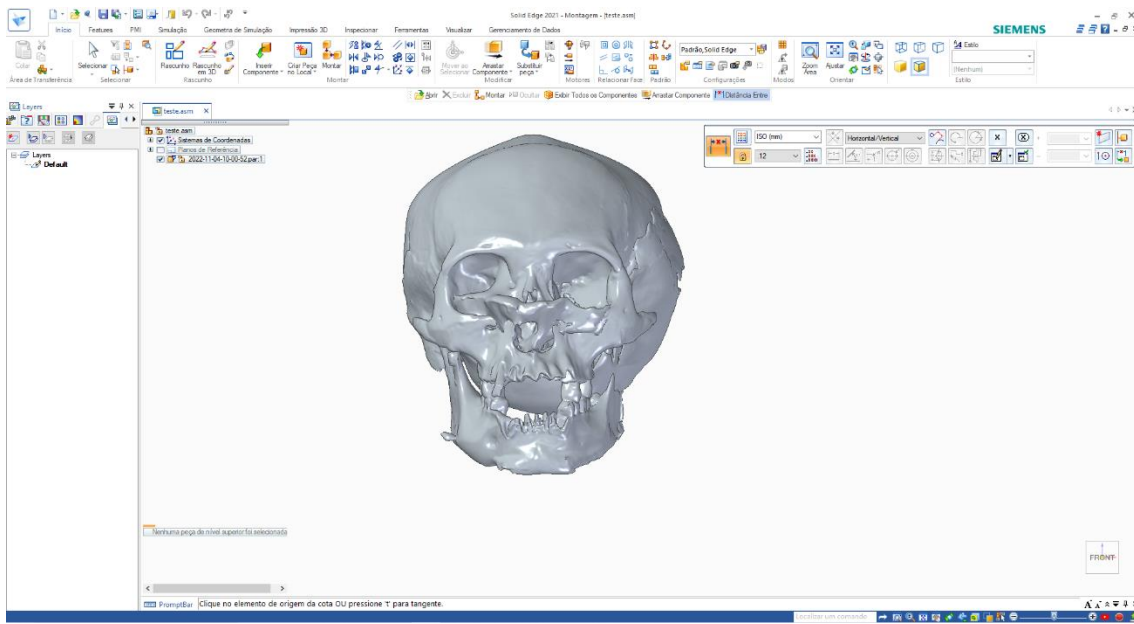


Figura 6: Exemplo de escaneamento de um crânio no software solid edge 2021 tratamento da imagem.



Figura 7: Medição da espessura dos crânios com auxílio de um paquímetro

Impressão e pintura dos crânios

Após as correções nas malhas, a impressão 3D do crânio “Zuzú” foi realizada em camadas. A fim de retirar os resquícios de resina existentes na peça foi realizada a sua lavagem química. Como forma de acelerar o processo e melhorar a resistência foi realizada a cura da peça por UV. Por fim foi efetuado o polimento e acabamento superficial do crânio. O resultado pode ser visto na Figura 8.

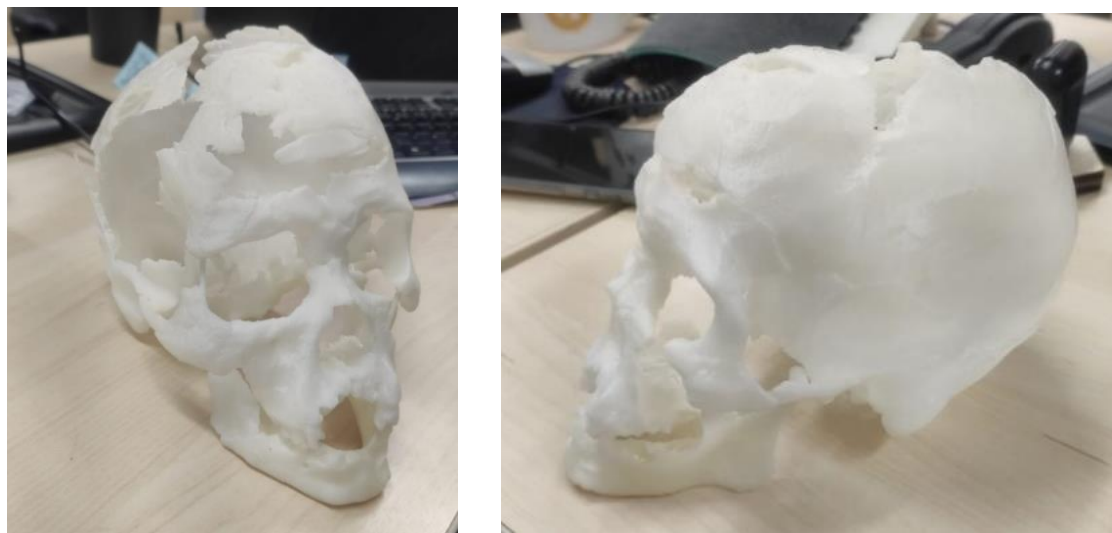


Figura 8: Crânio impresso sem a pigmentação.

Reintegração cromática na réplica 3D de “Zuzú”

Segundo Grenda (2010) apud Diniz (2016), a reintegração cromática pode ser entendida como uma prática de caráter estético, dentro da conservação-restauração. Relaciona-se com a apresentação de uma imagem final de um objeto em conservação-restauração, com a restituição da sua unidade formal e suas maneiras de apreciação, compreensão e uso. Trata-se de uma intervenção que implica, essencialmente, na forma da experiência de percepção visual do público de uma exposição museológica, por exemplo. Entretanto, essa prática (reintegração, integração ou retoque) possui relação com as criações artísticas como documentos históricos (Diniz, 2016).

No caso em estudo, foi elaborada uma réplica em resina (100% do objeto original), indireta, por capturação de escâner 3D. Não se aplica a reintegração cromática no original. O crânio original apresenta-se com tons pastéis e ocres, com sujidades, superfície impermeabilizada com resina e áreas com degradação por agentes tafonômicos locais.

O modelo ou réplica em 3D, com 5mm de espessura média, não apresenta a superfície do relevo ósseo reproduzida em detalhes menores do que 1mm, exceto quanto a sua volumetria e morfologia geral. Este modelo foi impresso em branco.

A perspectiva reintegrativa, na sua extensão mimética ou ilusionista (Diniz, 2016), na qual a pigmentação de áreas faltantes ou danificadas de um objeto colorido segue a mesma variação dos matizes e seus tons, parece ser a mais próxima desta proposta de pigmentação do modelo 3D. A impressão colorida de réplicas em 3D já está disponível. Entretanto, o elevado custo e o resultado ainda não são satisfatórios ou adequados. A reintegração diferenciada (Diniz, 2016), com uso de tons neutros, subtons, *tratteggio* (com seleção, abstração ou pontilhismo cromático) nas áreas sem cor do original, também não é aplicável neste caso.

Foram selecionados pigmentos que não possuíssem solventes agressivos à resina da impressão 3D (PA, álcoois), em especial aqueles com uso de água destilada e a base de PVA. Também foram incluídos sedimentos naturais argilosos e ferrosos com adesivo de PVA neutro, aplicados com pincéis e de secagem rápida. Sobreposições de pigmentos, tons e matizes respectivos, objetivaram a máxima aproximação cromática. A setorização do crânio foi feita por fragmento e não em quadrículas ou grade. Cada fragmento foi pigmentado de acordo com imagens fotográficas coloridas do espécime. Portanto, sim, há um distanciamento da cor original com a cor da nova pigmentação reconstitutiva (reintegrativa) da réplica, resultante da intervenção subjetiva do agente da técnica de pintura.

A experimentação de preparo dos pigmentos por fragmento buscou a máxima aproximação cromática. Note-se que o resultado está direcionado para a expografia e não para a análise científica das aproximações cromáticas entre original e réplica. Mantiveram-se as diferenciações entre réplica e original pela dissonância cromática leve. O uso de colorímetro ou cartela de Munsell no futuro devem possibilitar uma comparação mais ou menos precisa dos dados cromáticos entre original e réplica nessa proposta de aproximação cromática manual (não digital).

Os pigmentos usados são materiais colorantes em forma de pó suspenso em aglutinante no qual não seja solúvel (Diniz, 2016). Foram empregados pigmentos cujos solventes e aglutinantes não fossem prejudiciais à resina da réplica em 3D, quer industrializados, quanto naturais, conforme descrito abaixo:

a) PVA fosco (várias cores). Composição: resina vinílica, água, espessante acrílico, aditivo, cargas biocida, amoníaco, pigmentos (marca 1).

b) Tinta acrílica fosca (várias cores). Composição: resina acrílica, aditivos, pigmentos, carga e conservante (marca 2).

c) Ocre em pó. Composição: hematita Fe_2O_3 (óxido de ferro), coletada no Parque Nacional Serra da Capivara.

d) Argila seca em pó (marca 3), proveniente da região de Igarassu - PE.

A aplicação dos colorantes foi feita com pincéis de cerdas naturais (vegetal), sempre com a preparação de amostras de cores para cada fragmento do crânio. O resultado das primeiras aproximações cromáticas pode ser observado na Figura 9.



Figura 9: Vistas anterior e superior da réplica do crânio de "Zuzú" após aproximação cromática. A parte interna da réplica não foi pigmentada.

Conclusões

A escolha do crânio de “Zuzú” está relacionada à sua particularidade no estudo das populações que habitaram o continente americano entre 8.000 e 10.000 anos BP. As sucessivas análises morfoscópicas e morfométricas comparadas e tentativas de análises biomoleculares e isotópicas indicam tratar-se de um biofato arqueológico de significativo valor científico. Assim, o escaneamento e impressão 3D desse crânio representa uma inovação dentro das ações de pesquisa que foram realizadas até o momento.

Para além das características morfométricas, as remodelações tafonômicas neste material ainda não foram objeto de pesquisa arqueométrica aprofundada. Menéndez et al (2022), por exemplo, está buscando entender outras perspectivas diagnósticas para o sexo biológico de “Zuzú”. A morfologia da cóclea no temporal representa um novo conjunto de dados para a obtenção de informações sobre sexo e ancestralidade, por exemplo, ou datação direta.

O escaneamento em 3D fornece conjuntos de dados básicos para o desenvolvimento de formatos de representação facial humana (RFH) para fins museográficos e pedagógicos, gerando “reconstruções faciais” absolutamente hipotéticas, quando destituídas de dados bioantropológicos de caracteres do fenótipo, por exemplo, acessíveis, em parte, a partir da reconstrução do perfil genético

Referência

DINIZ, J. F. Um Estudo Sobre A Reintegração Cromática: Uma Possibilidade De Diretrizes. TCC (Graduação em Conservação e Restauração) - Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

FREITAS, G. 2006. Metodologia e Aplicabilidade de Digitalização 3D a Laser no Desenvolvimento de Moldes para Calçados e Componentes. PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUIDON, N.; PARENTI, F.; OLIVEIRA, C.; VERGNE, C. 1998. Nota sobre a sepultura de Toca dos Coqueiros, Parque Nacional Serra da Capivara, Brasil. *Clio*. 13:187-197.

HAAS, R.; WATSON, J.; BUONASERA, T.; SOUTON, J.; CHEN, J.C.; NOE, S.; SMITH, K.; LLAVE, C. V.; EERKENS, J.; PARKER, G. 2020. Female hunters of the early Americas. *Science Advances*. 6: eabd0310. Disponível em: < <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abd0310> >. Acesso em: 21 nov. 2022.

HUBBE, M.; NEVES, W. A.; AMARAL, H. L.; GUIDON, N. 2007. Brief Communication: “Zuzu” Strikes Again—Morphological Affinities of the Early Holocene Human Skeleton From Toca dos Coqueiros, Piauí, Brazil. *American Journal of Physical Anthropology*. 134:285–291.

KERNER, J.; BENMOUSSA, N.; BOËDA, É.; DE CARVALHO BRAGA, L. R. 2020. Rare anatomic variation on a 10,000-year-old South American skeleton: the case of Luzu, Toca dos Coqueiros, Piauí State, Brazil. *Surgical and Radiological Anatomy*, 42: 1127–1132.

LESSA, A.; GUIDON, N. 2002. Osteobiographic Analysis of Skeleton I, Sítio Toca dos Coqueiros, Serra da Capivara National Park, Brazil, 11,060 BP: First Results. *American Journal of Physical Anthropology*. 118:99–110.

LÓPEZ-POLÍN, L. 2012. Possible interferences of some conservation treatments with subsequent studies on fossil bones: A conservator’s overview. *Quaternary International*. 275:120-127. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.07.039

MENÉNDEZ, L. P.; LÓPEZ-SOSA, M. C.; SILVA, S. F. S. M.; MARTIN, G.; PESSIS, A-M.; GUIDON, N.; SOLARI, A. 2022. Morphometric affinities and direct radiocarbon dating of the Toca dos Coqueiros’ skull (Serra da Capivara, Brazil). *Scientific Reports* 12:7807 (Nature Portfolio). Disponível em: <www.nature.com/scientificreports>, <<https://doi.org/10.1038/s41598-022-11893-3>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

NELSON, A. R. 2005. “Osteobiographics” of Dos Coqueiros Paleoindian reconsidered: Comment on Lessa and Guidon (2002). *American Journal of Physical Anthropology*. 126, 401–403.

STRAUSS, A.; OLIVEIRA, R. E.; GRATÃO, M.; COSTA, A.; FOGAÇA, E.; BOËDA, E. 2018. Human skeletal remains from Serra da Capivara, Brazil: review of the available evidence and report on new findings in. HARVATI, K.; JÄGER, K.; REYES-CENTENO, H. (eds.) *New Perspectives on the Peopling of the Americas*. p.153–171 (Kerns Verlag).