

Impressão 3D de peças anatômicas escaneadas como ferramenta de educação.*3D printing of scanned anatomic pieces as an education tool.*

Nicolas Canale Romeiro, André Salomão, Gabriel de Souza Prim & Milton Luiz Horn Vieira.

impressão 3D, escaneamento 3D, osteologia, anatomia, educação.

O propósito deste artigo é apresentar os procedimentos e resultados obtidos realizando a impressão 3D de peças anatômicas previamente digitalizadas pelo processo de escaneamento tridimensional. Analisando os resultados obtidos de testes realizados em duas diferentes impressoras 3D, uma que utiliza filamento plástico por um processo de depósito de filamento fundido, e outra que utiliza resina ativada por UV. O objetivo da realização dos testes e procedimento é de propor uma forma de desenvolvimento de um novo material de apoio para estudos na área de anatomia, de forma menos burocrática que a aquisição de novas peças cadavéricas. O artigo é dividido pela introdução, procedimentos e desenvolvimento, dividido em dois subcapítulos, o de escaneamento e o de impressão 3D, e por fim, as conclusões. Na introdução é apresentado o problema e motivações para realização do projeto. Em procedimentos e desenvolvimento, o capítulo é dividido entre o subcapítulo de escaneamento, que apresenta os procedimentos realizados no escaneamento, da preparação da peça, escaneamento e pós processamento. O subcapítulo referente a impressão 3D aborda as diferenças entre as impressoras utilizadas, a utilização de estruturas de suporte, e apresenta os diferentes resultados obtidos com as diferentes impressoras e materiais.

3D printing, 3D scanning, osteology, anatomy, education.

The purpose of this article is to present the procedures and results obtained by performing the 3D printing of anatomical pieces previously digitized by the three - dimensional scanning process. Analysing the results of tests performed on two different 3D printers, one using plastic filament by a filament deposition process, and the other using UV activated resin. The objective of the tests and procedure is to propose a way of developing new support material for anatomical studies, in a less bureaucratic way than the acquisition of new cadaveric parts. The article is divided by introduction, procedures and development, divided into two subchapters, the scanning and the 3D printing, and finally the conclusions. In the introduction the problem and motivations for the realization of the project are presented. In procedures and development, the chapter is divided between the scanning subchapter, which presents the procedures performed in scanning, part preparation, scanning and post processing. The subchapter for 3D printing addresses the differences between the printers used, the use of support structures, and presents the different results obtained with the different printers and materials.

1 Introdução

Este artigo tem como objetivo analisar os resultados de testes de impressão 3D de modelos peças anatômicas obtidas por meio de escaneamento 3D. Para cumprir com o objetivo, se utiliza de métodos para obtenção de modelos de alta resolução das peças de estudo e posteriormente realizam-se testes com impressoras 3D.

Escaneamento 3D consiste em obter uma representação de um objeto real em ambiente virtual tridimensional (Bernadini & Rushmeier, 2002). Com equipamentos para digitalização 3D se tornando mais acessíveis para o público final (Bernadini & Rushmeier, 2002), e também existindo a possibilidade de adaptação de outros equipamentos para este uso (Weise et al., 2011), foi escolhido esse método para obtenção de modelos tridimensionais fiéis ao objeto real. Enquanto impressão 3D tem como funcionalidade replicar modelos digitais em artefatos físicos (Berman, 2012).

Anais do 9º CIDI e 9º CONGICLuciane Maria Fadel, Carla Spinillo, Anderson Horta,
Cristina Portugal (orgs.)**Sociedade Brasileira de Design da Informação – SBDI**

Belo Horizonte | Brasil | 2019

ISBN 978-85-212-1728-2

Proceedings of the 9th CIDI and 9th CONGICLuciane Maria Fadel, Carla Spinillo, Anderson Horta,
Cristina Portugal (orgs.)**Sociedade Brasileira de Design da Informação – SBDI**

Belo Horizonte | Brazil | 2019

ISBN 978-85-212-1728-2

Tecnologias de impressão 3D já são amplamente utilizadas em universidades, com foco na impressão e manuseio de impressoras (Ford & Minshall, 2018). A motivação da impressão de peças anatômicas é de que a resolução de impressão seja suficiente para que possa eventualmente ser uma alternativa para peças cadavéricas no ensino da disciplina de anatomia em cursos da área da saúde, uma vez que a manutenção de laboratórios anatômicos demanda uma alta quantidade de recursos e a aquisição de novas peças é extremamente burocrática (Prim et al., 2018).

A quantidade limitada ou a total ausência de peças cadavéricas é um problema já enfrentado em universidades pelo mundo, onde muitas delas suprem tal necessidade com a utilização de softwares de visualização 3D ou peças de plástico (Mogali et al., 2018). Um dos problemas com a utilização de peças plásticas apresentados por Mogali et al. (2018) é a rigidez de estruturas que realisticamente não a apresentam, por esse e outros problemas apresentados, como a falta de precisão em representar os objetos, os autores delimitam essas ferramentas como material de apoio, não substituindo a experiência de um cadáver real.

Para contornar o problema inicialmente apresentado, o presente projeto se limita a realizar impressões apenas de ossos, que naturalmente são rígidos. Tendo como objetivo apresentar uma opção mais acessível e menos burocrática para objetos de estudo em anatomia humana. Adicionando as áreas de medicina, biologia e outras ciências da saúde apresentando uma nova opção para materiais de apoio em estudos de anatomia humana.

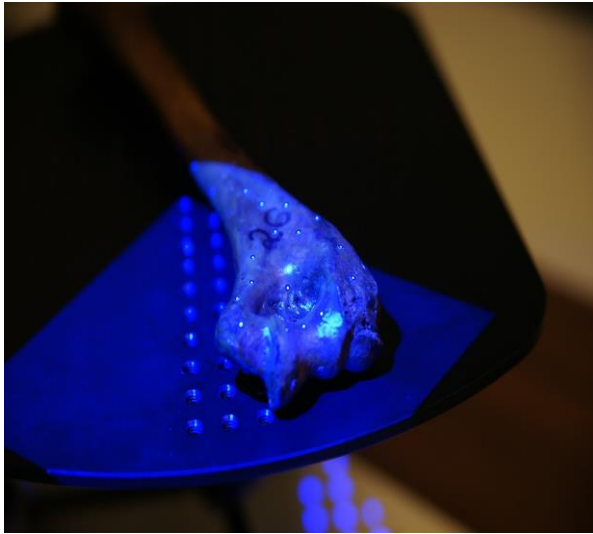
2 Procedimentos e Desenvolvimento

Durante o projeto, foram utilizados os procedimentos apresentados por Romeiro (2018), que adapta a metodologia apresentada por Bernadini e Rushmeier (2002) para fim específico de digitalização de peças ósseas. Para a parte de impressão 3D foram realizados testes utilizando uma impressora 3D que utiliza filamentos plásticos como material de impressão, e uma impressora 3D que utiliza resina.

Escaneamento

Para o escaneamento, utilizou-se a adaptação de Romeiro (2018) aos procedimentos metodológicos apresentados por Bernadini e Rushmeier (2002), que considera todo o processo de digitalização, também abordando a interação entre os diversos softwares utilizados para a obtenção dos melhores resultados. Na metodologia aplicada, primeiro é feita a preparação das peças para o escaneamento, colocando pontos de referência a serem captados pelo sensor, o escaneamento do objeto e o pós processamento necessário para que o modelo esteja adequado para a impressão. O equipamento utilizado para realização da digitalização é o Atos Compact Scan 5M, da empresa GOM. O scanner utilizado conta com a tecnologia *blue light*, que evita que a iluminação ambiente interfira no resultando, projetando uma luz azul na área de captura e utiliza filtros azuis nas lentes do corpo do equipamento para uma captação mais precisa. Um exemplo do osso sendo escaneado é apresentado na Figura 1.

Figura 1. Osso preparado para escaneamento, com pontos de referência. (Romeiro, N, C. 2018)



O scanner, para alinhamento das capturas poder ser feito de forma automática, diferentemente da forma que é sugerida por Bernadini e Rushmeier (2002), pois usa um sistema de pontos de referência, onde o software responsável pelas capturas localiza esses pontos e os alinha de forma automática no ambiente tridimensional. Os pontos de referência são adesivos circulares com o centro em 100% branco e o anel exterior sendo 100% preto. Durante a preparação da peça para o escaneamento, é necessário atentar-se aos pontos de referência, garantindo que exista um número suficiente de pontos, pois para a captura ser realizada, é necessário que os sensores do scanner consigam ter visão de pelo menos 3 pontos de referência já capturados em capturas anteriores, com exceção da primeira captura que registra os primeiros pontos visíveis.

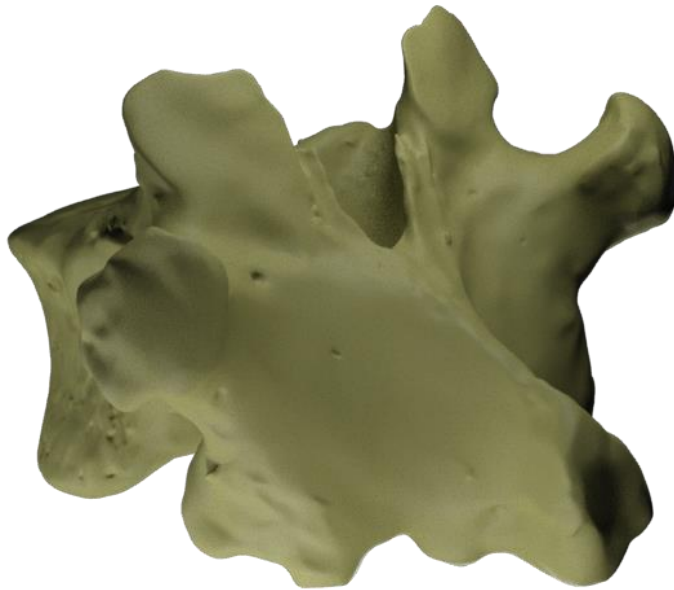
No escaneamento, é preciso garantir que além dos pontos de referência estejam bem visíveis ao sensor, que o tempo de exposição seja adequado a coloração da peça que está sendo digitalizada, uma vez que objetos mais claros necessitam menos tempo de exposição que os mais escuros para serem capturados com qualidade. E devido a limitação técnica imposta pelo equipamento o sensor e o objeto devem permanecer parados durante o processo de digitalização, uma vez que se houver movimentação, ou interferência durante a captura, o resultado final da peça poderá ter desalinhamento(s) na(s) junção(ões) de capturas, e entre outros problemas.

Após o escaneamento, é obtido um modelo digital bruto que costumeiramente apresenta erros e redundâncias, (mesmo em casos onde não tenha ocorrido problemas técnicos ou práticos durante o processo), onde dentro do software utilizado para o escaneamento, existem ferramentas para a solução desses erros. Os problemas recorrentes são erros na malha, (como furos, faces invertidas dos polígonos, e triângulos deformados) (Romeiro, 2018). Idealmente, não deveriam existir furos na malha, ou áreas onde não foi possível garantir a digitalização, porém, em objetos que possuem formas pouco regulares, como os ossos que possuem curvas e reentrâncias mais orgânicas e em maior quantidade, existe o risco de acontecer, porém para contornar esse problema, o software utilizado durante o escaneamento apresenta uma ferramenta chamada “fechar furos”, que serve para arrumar as imperfeições na malha do objeto tri-dimensional, e seu resultado mostra-se competente para a atividade proposta, quando se analisa o resultado visual entre a peça real com a digital. Outros erros comuns, como triângulos disformes ou sobrepostos, pelo tamanho dos polígonos, e a natureza do erro, dificilmente são visíveis, sendo apenas necessário a utilização de outra ferramenta, denominada de “Eliminar erros na malha”, que tem como função localizar e resolver esses tipos de erros encontrados.

Depois do processo de escaneamento concluído, o resultado é um modelo tri-dimensional com mais de um milhão de polígonos, após essa etapa, é necessário exportar esse modelo, que está em um formato específico do software utilizado, para outro software que lida com objetos tri-dimensionais para a etapa de pós-processamento. , esse projeto escolheu a

ferramenta da Autodesk, denominada ReCap Pro para realizar a etapa de pós processamento. A próxima etapa do processo a ser realizado é de criar triangulações da malha, utilizando as ferramentas disponíveis pelo próprio programa, por um motivo de reorganização dos triângulos que compõem a malha, um passo que se apresenta necessário por testes prévios acarretarem em congelamentos ou lentidão quando o modelo bruto era diretamente importado para programas 3D (Romeiro, 2018). Porém essa etapa apresenta a dificuldade de que durante o processo de retriangulação, existe a possibilidade de ocorrer erros, como triângulos degenerados, novos furos na malha e outros problemas apresentados anteriormente. Após esse a etapa de pós processamento, o resultado é de um modelo tri-dimensional, com o mínimo de erros possíveis na malha, que pode ser visualizado na figura 2.

Figura 2 - Render de modelo da peça Vertebra T-XI após pós-processamento. (Romeiro, N. C. 2018)



Depois do processo de reorganização da malha concluído e sem erros é feita nova exportação para que o objeto possa ser impresso em 3D. O *software* permite exportar em diversos formatos diferentes, o escolhido é um formato aceito na maioria dos softwares 3D e também pelos programas que fazem o fatiamento para a impressão, por ser o formato lido pelos programas de impressoras 3D, e também permite reduzir a malha, o modelo passa por uma redução do número de polígonos para a exportação com aproximadamente 700 mil polígonos, onde não apresenta perda significativa no nível de detalhes e ainda apresenta uma boa performance nos programas de impressão.

Impressão 3D

As impressoras utilizadas possuem métodos diferentes de utilização e de recolhimento da peça. A impressora utilizada para a peça feita com filamento foi uma Ender 3, da empresa Creality, utilizando o *software* fatiador Simplify 3D. Nesse tipo de impressora, após a finalização do processo, a peça pode ser simplesmente retirada da mesa de impressão, com as mãos ou com uma espátula, caso necessário, para então ser feita a remoção dos suportes, dependendo do tamanho, uma ferramenta como um alicate pode ser necessária, e ocasionalmente de forma manual, como apresentado em material de divulgação da impressora. Para a peça em resina, foi utilizada a impressora ProJet 1500, da empresa 3D Systems, utilizando o *software* proprietário da impressora. No equipamento utilizado para a confecção da peça de resina, por se tratar de um material que apresenta toxicidade, a retirada da peça da câmara e mesa de impressão deve ser feita com luvas e máscara. A resina endurecida após a impressão apresenta ainda uma camada superficial de resina não endurecida, como visível na figura 3,

que deve ser limpa utilizando agente químico solvente, no caso destes testes realizados, foi utilizado acetona.

Figura 3 - Impressão em resina recém realizada, com camada de resina não endurecida.



Após a limpeza com acetona, que também precisa ser manipulada com cuidado, como a utilização de luvas e máscara, com a camada residual de resina eliminada, a resina endurecida ainda se encontra num estado frágil e não curado, levando a necessidade de cura por radiação ultravioleta, podendo ser feita deixando em ambiente externo sob a luz do sol, ou em câmaras específicas para esse fim, neste projeto, foi utilizado a opção da câmara por sua disponibilidade imediata e para evitar possíveis efeitos externos que poderiam interferir no resultado final, como ventos que poderiam derrubar a peça e também o tempo necessário. A peça foi deixada por uma hora na câmara UV para cura da resina, após esse processo, a peça está concluída e pode ser utilizada e manipulada com segurança. Com o modelo final exportado no formato escolhido com sucesso, é importado então para um *software* fatiador, que importa o modelo e corta a malha em fatias, para assim a impressora conseguir ler e fazer os passos de impressão necessários para a construção da peça. Uma característica das impressoras 3D utilizadas para os testes é de que elas não podem imprimir sobre um espaço vazio, sendo necessários suportes de impressão.

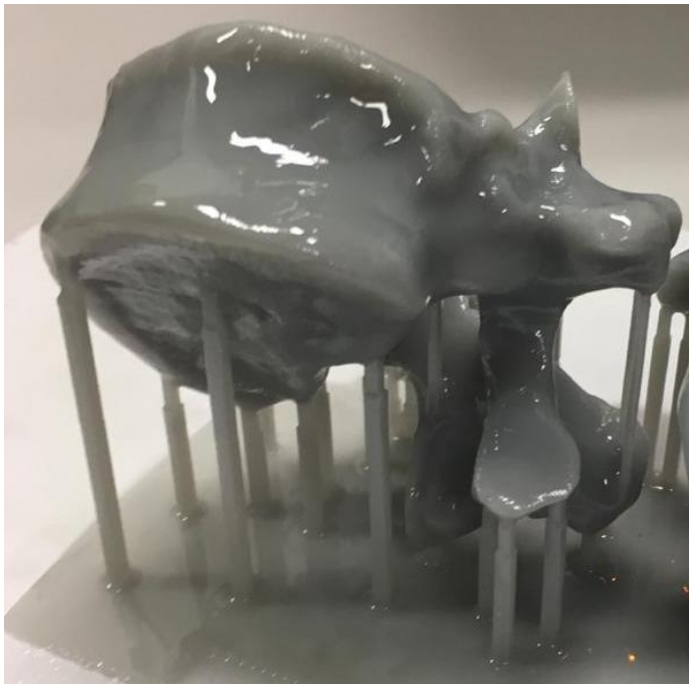
Os suportes podem ser postos de forma manual, junto com o modelo, ou de forma automática pelo programa responsável por fatiar o modelo, para serem removidos após a conclusão da impressão. A utilização de suportes, por ser uma estrutura de sustentação e serem anexas a peça final, causa comprometimento da superfície onde estão em contato, um exemplo pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4 - Superfície após remoção de suportes.



Na figura 4, observa-se que a superfície apresenta diversos comprometimentos, uma vez que não existe definição da mesma, apresentando apenas filamento da impressora. Suportes maiores e mais grossos são comuns em impressoras 3D de filamento, já que são utilizados para impedir que material seja disposto no ar (Livesu et al., 2017). Enquanto não é possível a não utilização de suportes, dependendo da orientação da peça na mesa de impressão, pode-se minimizar o uso dos mesmos. Em impressoras de resina, existe uma tolerância maior para a utilização de suportes, uma vez que nesse tipo de impressora os suportes servem principalmente para sustentação do peso da peça, e os suportes acabam por ser mais finos nas áreas de contato (Livesu et al., 2017), como mostrado na figura 5.

Figura 5 - Impressão em impressora de resina com suportes.



No caso da utilização da impressora com resina, com os suportes sendo mais escassos e mais finos, o resultado final mostra um comprometimento menor da superfície de forma geral, , deixando apenas alguns pequenos pontos, onde existe contato com a estrutura de suporte, como pode ser visto na figura 6 onde a superfície inferior da peça e em evidência os resquícios de suporte.

Figura 6 - Resquícios de suporte em peça impressa em resina.



Em relação às áreas que não tem contato com suportes, a peça impressa com filamento de plástico ao mesmo tempo que apresenta uma clara definição da superfície quando comparado visualmente ao objeto real ou ao resultado digital obtido no escaneamento, também deixa visível as camadas da impressão. Os testes realizados em resina, além de não apresentar comprometimento extenso nas áreas de suporte, apresenta uma resolução maior da superfície quando comparado aos resultados do objeto feito com filamento, pois também não apresenta visibilidade das camadas de impressão. A comparação entre a impressão em filamento e resina pode ser analisada de acordo com a figura 7.

Figura 7 - Modelo impresso em filamento (esquerda) e impresso em resina (direita).



3 Conclusão

Este trabalho contribui para área do design como apresentação de uma série de métodos a serem seguidos quando o projeto demanda que algum objeto real seja digitalizado e posteriormente replicado por meio de impressão 3D. E para área da educação e saúde como uma forma de poder se manter réplicas de peças anatômicas de forma acessível e pouco

burocrática. Apesar de os resultados obtidos não serem suficientes para substituição do objeto real em sala de aula, em razão das falhas em superfícies em contato com o suporte, podendo ser utilizada em sala de aula como uma referência a peça, porém não substituindo os objetos reais quando estudos mais aprofundados forem necessários.

A maior dificuldade encontrada durante o processo foi a configuração dos modelos tridimensionais para impressão, uma vez que houve a necessidade de testes para utilização do mínimo uso de suportes possível, já que compromete a fidelidade da superfície da peça em relação ao objeto real.

Com uma eventual evolução no estado da arte, uma possível adição a pesquisa sobre impressão 3D de peças anatômicas seria uma forma de não utilizar suportes na impressão para evitar defeitos na superfície do objeto impresso. Possíveis testes seriam testar em diferentes tipos de impressora ou com diferentes materiais de impressão. E caso este resultado seja alcançado, experimentar também expandir o tipo de objeto impresso para abranger mais áreas da anatomia humana, como tecidos, se encontrado material que possa oferecer propriedades parecidas com o objeto real. Por fim realizar pesquisa com professores e alunos da área médica, a fim de discutir o uso de peças geradas por impressora 3D em laboratórios de anatomia para fins de estudo.

Agradecimento

Agradecemos à Universidade Federal de Santa Catarina, Capes, CNPq, e à toda equipe de apoio do DesignLab e Tecmidia.

Referências

- Berman, B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, [s.l.], v. 55, n. 2, p. 155-162, Mar-Apr 2012. Elsevier.
- Bernadini, F., & Rushmeier, H. The 3D Model Acquisition Pipeline. *Computer Graphics Forum*, [s.l.], v. 21, n. 2, p.149-172, jun. 2002. Wiley
- Ford, S., & Minshall, T. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, [s. l.], v.25, [s.n], p.131-150, Jan. 2019. Elsevier.
- Livesu, M., Ellero, S., Martínez, J., Lefebvre, S., & Attene, M. From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline. *Computer Graphics Forum*, Wiley, 2017
- Mogali, S. R., Yeong, W. Y., Kuan, H., et al. Evaluation by Medical Students of the Educational Value of Multi-Material and Multi-Colored Three-Dimensional Printed Models of the Upper Limb for Anatomical Education, v. 64, n. February, p. 54–64, 2018.
- Prim, G. S.; Leal, G. Z.; Romeiro, N. C.; Campos, D. V., & Vieira, M. L. H. (2018) Digitalização 3D de Ossos Humanos para Ferramentas de Estudo em Anatomia. *Anais P&D Design* 2018.
- Romeiro, N. C. Digitalização de peças anatômicas para utilização em mídias 3D. 2018. 45 f. *TCC (Graduação)* - Curso de Design, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- Weise, Thibaut et al. Realtime performance-based facial animation. *Acm Siggraph 2011 Papers On - Siggraph '11*, [s.l.], p.1-10, ago. 2011. ACM Press.

Sobre os autores

Nicolas Canale Romeiro, Bel, UFSC, Brasil <nicolas.sagaz@gmail.com>

André Salomão, Bel, UFSC, Brasil <andresalomao3d@gmail.com>

Gabriel de Souza Prim, Me, UFSC, Brasil <gabrielsprim@gmail.com>

Milton Luiz Horn Vieira, Dr. Eng, UFSC, Brasil <Milton.vieira@ufsc.br>