Fernanda Gonçalves Oliveira1, José Wilson Vieira2, José A. P. da Costa3, Alex C. H. de Oliveira4, José M. Lima Filho5

1 Estudante do Curso de Mecânica Industrial.- IFPE, campus Recife.; e-mail: baby.oliveira@hotmail.com.br 2 Pesquisador do DASS – IFPE, campus Recife; e-mail: jose.wilson59@uol.com.br 3 Pesquisador do DACI – IFPE, campus Recife; e-mail: angelocosta@recife.ifpe.edu.br 4 Estudante de Doutorado do DEN.- UFPE; e-mail: oliveira_ach@yahoo.com 5 Pesquisador do DASS – IFPE, campus Recife; e-mail: josedemelo@gmail.com

RESUMO

De um modo geral as trabéculas ósseas são microestruturas porosas distribuídas de maneira irregular formando uma espécie de "caverna" onde os espaços são preenchidos pela medula óssea. Por possuir uma geometria complexa existe uma grande dificuldade para reprodução física das mesmas. Um dos métodos mais eficiente é a reprodução física pela prototipagem rápida, popularmente conhecida como impressora 3D, que consiste na adição de camadas planas superpostas de um dado material, até a construção completa do modelo físico, a partir de imagens digitais 3D. Neste trabalho pretende-se analisar a capacidade das impressoras 3D disponível no IFPE – campus Recife para a produção de trabéculas ósseas. Para analise foram reproduzidas fisicamente as pilhas de imagens das trabéculas da região do fêmur adquiridas por imagens micro-CT e sinteticamente com software MonteCarlo já utilizadas pelo Grupo de Dosimetria Numérica de Recife, PE, Brasil nos seus modelos computacionais de exposição. As pilhas de imagens estavam no formato SGI (Simulações Gráficas Interativas) e precisaram ser convertidas ao formato STL (Stereolitography), padrão nas impressoras 3D. Os arquivos STL precisaram sofrer reajustes realizados nos sistemas CAM (Computer Aided Manufacturing). As impressoras 3D testadas foram a CubeX Duo e UprintSE, que operam com a tecnologia de fundição e deposição de material. As imagens produzidas permitem concluir que as impressoras 3D disponíveis são invalidas para produção de trabéculas ósseas para serem usadas em fantomas físicos, mas podem ser usadas para adquirir trabéculas ósseas para fantomas computacionais através de imagens micro-CT com contraste para diferenciar os materiais entre si e do ar.

Palavras–chave: impressora 3D; prototipagem rápida; trabéculas ósseas **1. Introdução**

O fêmur é o maior osso do corpo humano. Nas suas extremidades, envolvido por uma camada de osso cortical, encontra-se o tecido ósseo esponjoso constituído por trabéculas, microestruturas porosas distribuídas de maneira irregular formando uma espécie de "caverna", onde os espaços são preenchidos pela medula óssea. A medula óssea vermelha (MOV) juntamente

Para a realização da dosimetria na MOV e SEO existe um grau maior de dificuldade comparada com outros tecidos, uma das causas é representar de modo realístico a estrutura das trabéculas ósseas, em razão de que possui uma geometria complexa cuja distribuição segue as linhas das forças mecânicas das cargas que o osso suporta e sua se altera ao longo da vida motivada pelo crescimento dos ossos (LIMA FILHO, 2014). Os obstáculos aumentam quando se tentar reproduzir fisicamente as trabéculas ósseas priorizando tanto a semelhança estética do tecido como sua composição, densidade e coeficiente de atenuação. Um dos métodos mais eficiente para a produção de peças complexas, como as trabéculas ósseas, é a prototipagem rápida que compor-se de quadro etapas básicas:

- 1. Obtenção do modelo 3D;
- 2. Exportação do arquivo para o formato lido pela impressora 3D;
- 3. Transferência do arquivo para *software* da impressora 3D;
- 4. Construção do modelo pelo equipamento;

As maquinas de Prototipagem rápida são popularmente conhecidas como impressora 3D e consiste na adição de camadas planas superpostas de um dado material, até a construção completa do modelo físico, a partir de imagens digitais 3D (CARVALHO et al., 2006). Como a prototipagem rápida possui facilidade para produção de peças complexas e é de extrema importância à dosimetria nas MOV e SEO decidiu-se analisar se as impressoras 3D poderiam reproduzir as trabéculas ósseas com características necessarias para serem utilizadas em fantomas físicos.

O objetivo geral deste trabalho é construir fisicamente o protótipo das trabéculas ósseas do fêmur a partir dos dados já obtidos pelos membros do Grupo de Dosimetria Numérica (GDN), de Recife, PE, Brasil. Analisando assim, a capacidades das impressoras 3D disponíveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – *campus* Recife para a produção de fantomas físicos.

2. Materiais e Métodos

2.1. Construção do modelo pela impressora 3D

Para a produção física das trabéculas foram utilizadas duas impressoras 3D localizadas no IFPE campus Recife: A CubeX Duo, no LDN, e Uprint SE com placa de impressão 200 X 150 X 150 mm³, no laboratório Projeto Vitae. As impressoras 3D disponíveis para o projeto utilizam o método Deposição de Material Fundido (FDM). Nesse método o material vem em forma de filamento no estado sólido. Durante o processo de impressão o material é aquecido ficando num estado pastoso e, então, é depositado na plataforma, ou na camada anterior já impressa, de acordo com a geometria da peça. Esse processo é repetido até a peça está formada (VOLPATO, 2006).

A CubeX Duo utilizar dois termoplástico como material, tanto usado para produção da peça como para suporte com 16 cores diferente. São eles: a resina polilactida ABS e o copolímero PLA, densidades de 1,2g/cm³ e 1,05g/cm³, respectivamente (3D SYSTEM, 2013).

A impressora Uprint SE utiliza somente o termoplástico ABSplu na cor marfim para produção da peca e para suporte o material SST (Soluble Support Technology) que se dissolve numa solução aquosa com Soluble Concentrate, composto alcalino com base no NaOH (SISGRAPH,2010)

Seguem os passos necessários para que seja possível a produção física das trabéculas ósseas.

2.2. Obter o modelo 3D

Os modelos 3D utilizado no trabalho já estavam sobre posse do GDN. Foram usados duas pilhas de imagens da região trabécula do fêmur já submetidas a técnicas de processamento de imagens digitais para eliminação de ruídos, aumento de contraste, corte no formato de paralelepípedos com dimensões de 160 colunas, 60 linhas, e 160 fatias e no formato SGI. O arquivo Femur OR são imagens de microtomografia computadorizada da parte trabecular do fêmur extraído de um esqueleto feminino com idade de 30 anos. Enquanto o bloco Femur NT são trabéculas ósseas construído sinteticamente utilizando software MonteCarlo (Figura 1)

Para os arquivos poderem ser interpretados pelas impressoras 3D precisam ser convertido para o formato padrão das maquinas de prototipagem rápida: O formato STL (Stereolitography).

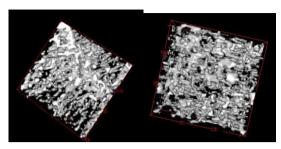


Figura 1 – Trabeculas do Femur_OR e Fermur_NT, respectivamente

Fonte: LIMA FILHO, 2014

2.3. Exportar o arquivo para o formato lido pela software da impressora 3D

O formato STL, segmenta a superfície do modelo 3D em partes menos complexa, formando no final uma malha triangular sobre a superfície do objeto (SILVA, 2006). Para obter o arquivo STL existem varias maneiras. Como as pilhas de imagens encontravam-se no formato SGi (Simulações Gráficas Interativas; este é o tipo de arquivo binário similar ao raw, comumente usados para armazenamento imagens de 8 bits) é necessário a conversão usando o software de código aberto Fiji (http://fiji.sc/Downloads). Na sequencia é descrito a conversão da pilha de imagens do Femur NT, do mesmo modo foi convertido Femur OR. Todas as imagens apresentadas neste capítulo foram feitas no software livre Fiji.

O Fiji trata o SGI como um arquivo Raw. Para visualizar o arquivo deve-se ir em File →Import → Raw. Antes de converter o arquivo deve-se obsevar se o arquivo é binário. Caso contrário, deve-se ir em Process → Binary → Make Binary. No caso dos arquivos utilizados nesse trabalho não é necessário. Depois que o arquivo estiver aberto, e em binário, os seguintes passos devem ser seguidos

- Plugins → 3D Viewer (Irá abrir uma nova janela, ImageJ 3D Viewer); Obs.: os 1. próximos passos devem ser feito na janela ImageJ 3D Viewer.
- Edit \rightarrow Display as \rightarrow Surface; 2.
- 3. File → Export surfaces → STL binary ou ASCII;
- 4. Conversão Terminada.

Antes de comeca a produção das trabéculas é necessário fazer algumas alterações na peca para que a impressão seja bem sucedida. Essas alterações são feitas nos sistemas CAM (Computer Aided Manufacturing).

2.4. Transferir o arquivo para o sistema CAM

O sistema CAM são softwares desenvolvidos para auxiliar a impressora 3D (FIGUEIRA 2002/2003). Esses softwares disponibilizam ferramentas e informações sobre a peca a ser produzida. Uprint SE e a CubeX Duo possuem sistemas CAM diferentes, são os softwares CatalystEX e CubeX, respectivamente. Nos dois softwares as trabéculas sofreram alterações como a diminuição de 20% do volume do arquivo original, adicionou o material de suporte e/ou de jangada. Em seguida cada peça deve que ser rotacionada para que se gaste o mínimo de material de suporte. No caso do software CubeX o projetista deve determinar qual o material e a cor que vai ser usada para produzir a peça além de possui uma etapa extra que converte o arquivo para o formato *.cubex, único lido pela impressora CubeX Duo que obtém os arquivos através de um pendrive. Enquanto a UprintSE recebe as informaçõe diretamente do computador. Após fazer as alterações necessarias as trabeculas estão prontas para serem impressas. Na sequência são apresentados os resultados divididos em duas partes: conversões das imagens dos ossos trabeculares e analise das trabéculas ósseas produzidas fisicamente.

3. Resultados e Discussão

3.1. Conversões das imagens

A conversão do método descrito, visualmente ocorreu sem alterações significativas na estrutura do objeto, caso seja encontrado erros na geometria da peça é corrigidos automaticamente pelo sistema CAM (Figura 2).

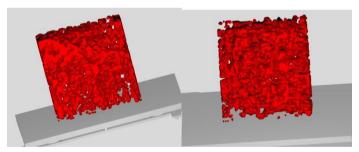


Figura 2 – Trabéculas ósseas do Femur_OR e Fermur_NT, respectivamente, depois da conversão.

Fonte: Imagem produzida no software CubeX

3.2. Biomodelos da trabéculas

Na impressora CubeX Duo foi realizado varias impressões alternando-os entre o ABS e o PLA, e foi observado que no caso das trabéculas o ABS é o melhor material para suporte.

Como não se tem um método para dissolver o ABS as trabéculas perde grande parte da sua porosidade mudando assim a geometria da peça (Figura 3).

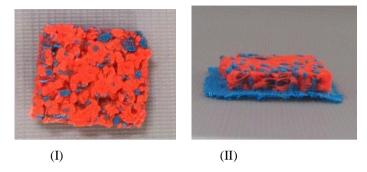


Figura 3 - Trabéculas ósseas do (I) Femur_NT e (II) Femur_OR produzido pela CubeX DUO

As trabéculas produzidas na UprintSE manterão a semelhança estética com as trabéculas ósseas observadas computacionalmente pós dissolver o material de suporte. No caso do Femur_OR por possuir muitas partes soltas no espaço o protótipo se fragmentou, uma solução possível seria a produção da parte trabécula juntamente com a parte cortical do osso (Figura 4).

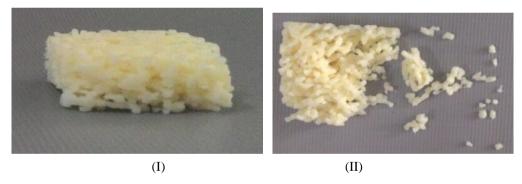


Figura 4 – Trábeculas ósseas do (I) Femur NT e (II) Femur OR produzido pela UprintSE

4. Conclusões

Em relação as trabéculas ósseas produzidas, as duas impressoras 3D foram consideradas invalidas para produção de trabéculas ósseas para utilizar em fantomas físicos, no geral, por possuírem a densidade muito inferior ao tecido real. Mas podem ser usadas para adquirir trabéculas ósseas para fantomas computacionais através de imagens micro-CT com contraste para diferenciar os materiais do ar.

Concluiu-se, também, que para utilizar a prototipagem rápida na produção de trabéculas ósseas com características necessárias para utilizar em fantomas físicos é necessária uma

impressora 3D que utilize uma grande gama de material com densidades variadas e semelhantes ao tecido simulado e o material de suporte deve ser solúvel. Depende também do grau de resolução, bem como das informações contidas no arquivo STL após a conversão do arquivo SGI.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFPE e CNPq pela ajuda financeira para a apresentação deste trabalho.

6. Referências

3D SYSTEM. CubeXTM 3D printer: User guide. 3D System, 2013

CARVALHO, J.; VOLPATO, N.. Prototipagem rápida como processo de fabricação. In: VOLPATO, N. Prototipagem rápida: Tecnologia e aplicações, São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2006. p. 1-15.

FIGUEIRA, R. J. C. de M., CAD/CAE/CAM/CIM. 2002/2003. 123 f. Projeto (Licenciatura em computadores e sistemas) - instituto politécnico do porto, instituto superior de engenharia do porto, Portugal.

LIMA FILHO, J. de M.. Construção da Esponjosa de Modelo Antropomórficos Baseadas em Técnicas Monte Carlo. 2014. 121 f.. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Concentração Dosimetria e Instrumentação) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

SILVA, J. V. L. da. Planejamento de processo para prototipagem rápida. In: VOLPATO, Neri. Prototipagem rápida: Tecnologia e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2006. p. 101138 SISGRAPH. Manual do cliente: Uprint 2010. SISGRAPH, 2010.

VIEIRA, J. W; Neto, V. L.; Filho, J. de M. L.; Cavalcanti, J. R. de S.; Lima, F. R. A.. DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO MONTE CARLO NÃO PARAMÉTRICO PARA GERAR IMAGENS SINTÉTICAS DE OSSOS TRABECULARES. In: Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety, 9., 2013, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.sbpr.org.br/irpa13/AnaisdoIRPA2013/InstrumentacionNuclearyDosimetria/3619.pg df> Acessado em: 03 de Jan. de 2015

VOLPATO, Neri. Prototipagem rápida: Tecnologia e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2006. p. 101-138