

# Modelagem tridimensional e planejamento de processo em manufatura aditiva utilizando software livre

Bolsista Laureana Stelmastchuk Benassi Fontolan

*lfontolan@cti.gov.br*

---

## Resumo

A rotina no Laboratório Aberto de Impressão 3D (LApriint) envolve a manipulação de modelos tridimensionais, operação dos equipamentos de manufatura aditiva (MA), pós-processamento e análise das peças fabricadas. Nesse contexto, a padronização de um software para múltiplas operações tem o intuito de otimizar o processo de produção. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade do *software* Blender em diferentes etapas da fabricação de peças por MA: modelagem tridimensional, pequenas alterações por demanda, redução e correção de malhas e criação de perfis com os parâmetros dos equipamentos de MA disponíveis no laboratório. Os protocolos experimentais desenvolvidos foram capazes de otimizar parte do processo de produção e necessitam de poucos ajustes para a implementação final. Apesar de muito difundido, o Blender não é software de escolha no contexto industrial da MA, mas possui grande potencial e pode reduzir os custos em aquisição de licenças de softwares, além de trazer contribuições à comunidade de software livre.

*Palavras-chave:* Manufatura Aditiva, Planejamento de Processo, Software Livre

---

## 1. Introdução

A manufatura aditiva (MA) é um processo de fabricação que compreende diversas tecnologias, mas todas tem em comum a construção de peças a partir da adição sucessiva de material em camadas. A MA é uma técnica de fabricação com crescimento médio mundial de 26,6% nos últimos 29 anos e tem feito grande progresso na produção de peças em série, sendo que US\$918,6 milhões foram gastos em partes produzidas por MA na incorporação em produtos finais em 2017 (Wohlert, 2018). Apesar de ser utilizada predominantemente na produção de peças em pequena escala, customização ou produção de peças únicas, protagonizando como prototipagem rápida (PR), existem exemplos bem sucedidos de substituição das técnicas convencionais de produção por MA, como na indústria médica, aeroespacial (Baumers e Holweg, 2019; Leach e Carmignato 2020) e mais recentemente durante o início da pandemia de COVID-19, quando a MA foi amplamente utilizada para produção em maior escala de aparatos médicos conforme a demanda aumentava (Longhitano et al., 2020; Arantes, 2020). O processo de fabricação de peças por MA segue um *pipeline* de operações desde o processamento do modelo tridimensional virtual até a obtenção de um objeto tangível.

O planejamento e análise de processo são etapas fundamentais na rotina de trabalho do Laboratório Aberto de Impressão 3D (LApriint) e a otimização destas etapas resultará em uma maior eficiência na execução de projetos provenientes de programas de apoio à pesquisa ativos no CTI Renato Archer.

Os apoios oferecidos pelo LAprint, no contexto de Laboratório Aberto do CTI Renato Archer, são solicitados por meio do preenchimento de formulários disponíveis no Portal de Laboratórios Abertos e o solicitante deve determinar qual a modalidade de acesso às instalações do LAprint: proposta de pesquisa, serviços contratados, acordos de cooperação ou contrato de compartilhamento. Após aprovação do projeto, a proposta é recebida pelos integrantes do LAprint que definirão as estratégias de execução do projeto com os solicitantes. Dos casos que envolvem MA, as situações mais frequentes envolvem: a análise de modelos prontos, a modelagem para ajustes, conversão de formatos ou mudança de escala e, modelagem total do objeto quando o solicitante não providenciou nenhum modelo e este será feito no LAprint.

O objetivo deste trabalho é apresentar a versatilidade do *software* Blender na execução de demandas no LAprint por meio da apresentação de casos nos quais o apoio à pesquisa envolveu este software em uma ou mais etapas do processo.

## 2. Material e Métodos

O *software* Blender foi eleito para avaliação de desempenho nas funções do planejamento de processo em MA por leito de pó em Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Fusão por Feixe de Elétrons (EBM), nos equipamentos Sinterstion<sup>®</sup> 2000<sup>™</sup>, Sintertation<sup>®</sup> HiQ<sup>™</sup> (3D Systems) e Arcam Q10<sup>®</sup> (Krokslätts Fabriker 27A, SE-431 37 Mölndal, Sweden) para produção de peças em poliamida (Duraform PA, 3D Systems) e Ti-6Al-4V. Também foram processadas peças por fotopolimerização no equipamento Connex 350 (Object). Para validação, foram utilizados os programas MAGICS 22 (Materialise), Build Setup 3.42 (3D Systems), Build Assembler 3 3.2.88 (Arcam) e Object Studio 9.2.8.3 (Connex/Object).

Os *add-ons* do Blender empregados foram STL (Blender STL, 2022), Bool Tool (Blender Bool Tool, 2022) para modificadores do tipo *boolean* e 3D Print Toolbox (Blender 3D print toolbox, 2022).

## 3. Resultados

As peças geradas por MA tem diversas aplicações, em casos ProMed, o apoio para casos médicos e odontológicos se dá pela geração de moldes, guias cirúrgicos e modelos para treinamento pré-cirúrgico. Na maior parte destes casos, os modelos são gerados utilizando o *software* InVesalius (Amorim et al., 2015) a partir de exames de imagem e necessitam de ajustes para que possam ser fabricados. Dentre os ajustes estão a subtração de partes do modelo para otimizar o tempo de fabricação e o uso de material, essas subtrações são discutidas com os solicitantes para que não causem prejuízos na aplicação dos modelos. As figuras 1A, B, C e D mostram uma série de reduções utilizando três objetos diferentes em subtrações com o modificador *boolean* (figuras 1A, 1B, 1C e 1D) para redução e arredondamento de bordas da porção posterior da maxila (apoio ProMed PM6100 ao médico Renato da Silva Freitas) e 1E mostra uma perfuração feita com o mesmo modificador com a função de gerar um orifício para expulsar o restante de material do interior da peça que foi fabricada posteriormente por SLS (apoio ProMed PM5722).

Para determinadas aplicações, pode ser necessária a reconstrução de partes do modelo. A figura 2 mostra a reconstrução do modelo original (2A) para regularizar a porção do nariz (2B), esta reconstrução diminuiu a quantidade de problemas na malha nesta região e resultou em maior resistência da peça final (apoio ProMed PM5722).

Diversos modelos necessitam de designações escritas na superfície que podem indicar funcionalidades da peça, fluxos, direcionamentos ou podem servir apenas como identificação. Definiu-se

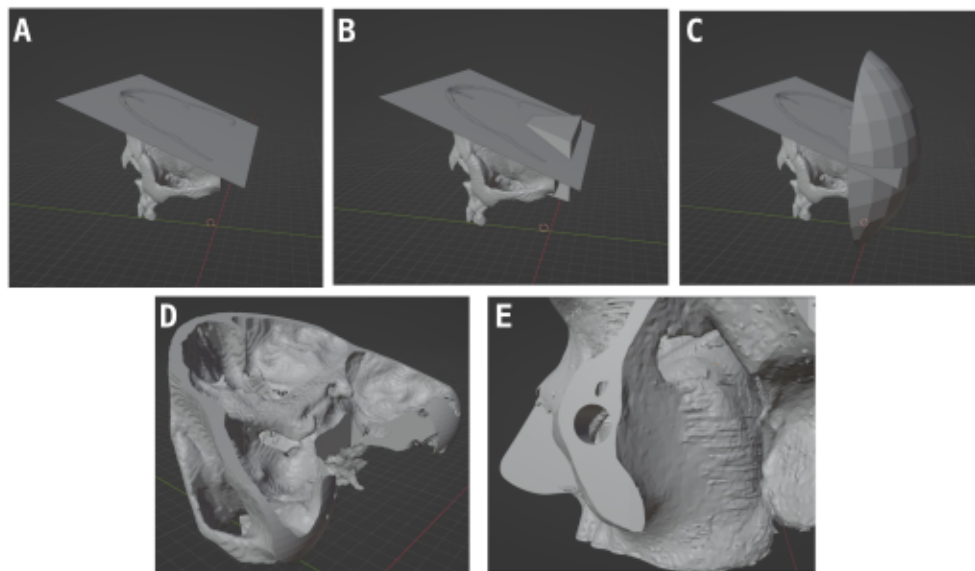


Figura 1: Capturas de tela do *software* Blender mostrando a adequação de modelos para MA por meio da aplicação de modificadores do tipo Boolean de subtração. A, B e C) Etapas de subtração. D) Resultado final do modelo e; E) Abertura de orifícios em partes estratégicas do modelo para vazão de pó.

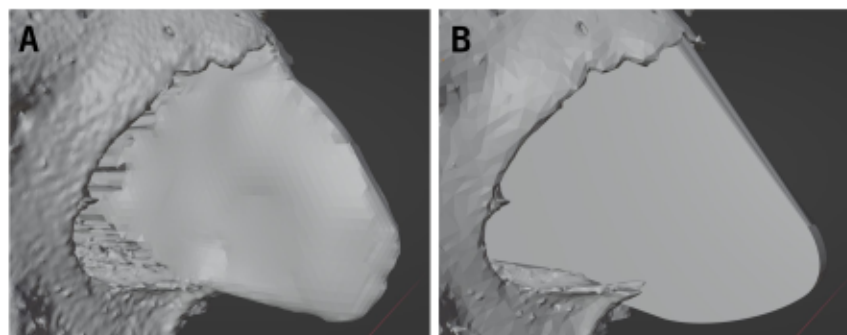


Figura 2: Capturas de tela do *software* Blender mostrando a reconstrução de modelo para aplicação médica sendo A) o modelo original e B) o reconstruído.

como padrão para geração desse tipo de etiquetas a fonte *Tomorrow* desenvolvida por Tony de Marco e Monica Rizzolli, disponível pela Google Fonts. Esta fonte permite maior clareza quando transformada em malha no programa Blender (figura 3).

Em casos nos quais o modelo tridimensional não é disponibilizado, ou requer grande manipulação e pode ter sua forma alterada por demanda da aplicação, sistemas visuais paramétricos passam a ser de grande interesse para geração dos modelos. Nestas demandas a geração da forma baseia-se em regras ou algoritmos derivados de ferramentas como *Geometry Nodes* do Blender que permitem reconfigurar a forma do objeto rapidamente. Alguns dos parâmetros explorados para geração de superfícies hidrofóbicas (apoio à pesquisa PE07062022-1 foram o tipo de estrutura, se paralelepípedos ou cilindros, e a distribuição das estruturas sobre uma base quadrada, com informações sobre a frequência, dimensões e distância entre estruturas. Na figura 4 pode-se observar a variação na distribuição de estruturas de um mesmo tipo (paralelepípedos).

Para as demandas em EBM é possível analisar o processo por meio das imagens termográficas geradas pelo sistema de controle de qualidade Arcam EBM LayerQam™. Além disso, também é possível utilizar as imagens para construir uma animação do processo como mostra a figura



Figura 3: Capturas de tela do *software* Blender mostrando as etapas para geração de textos tridimensionais. A) Modificação do texto em Modo de Edição, B) extrusão do texto central na fonte *Tomorrow Bold*, C) transformação do modelo de modo curva para malha e D) destaque na malha com a seleção de um vértice na letra "e".

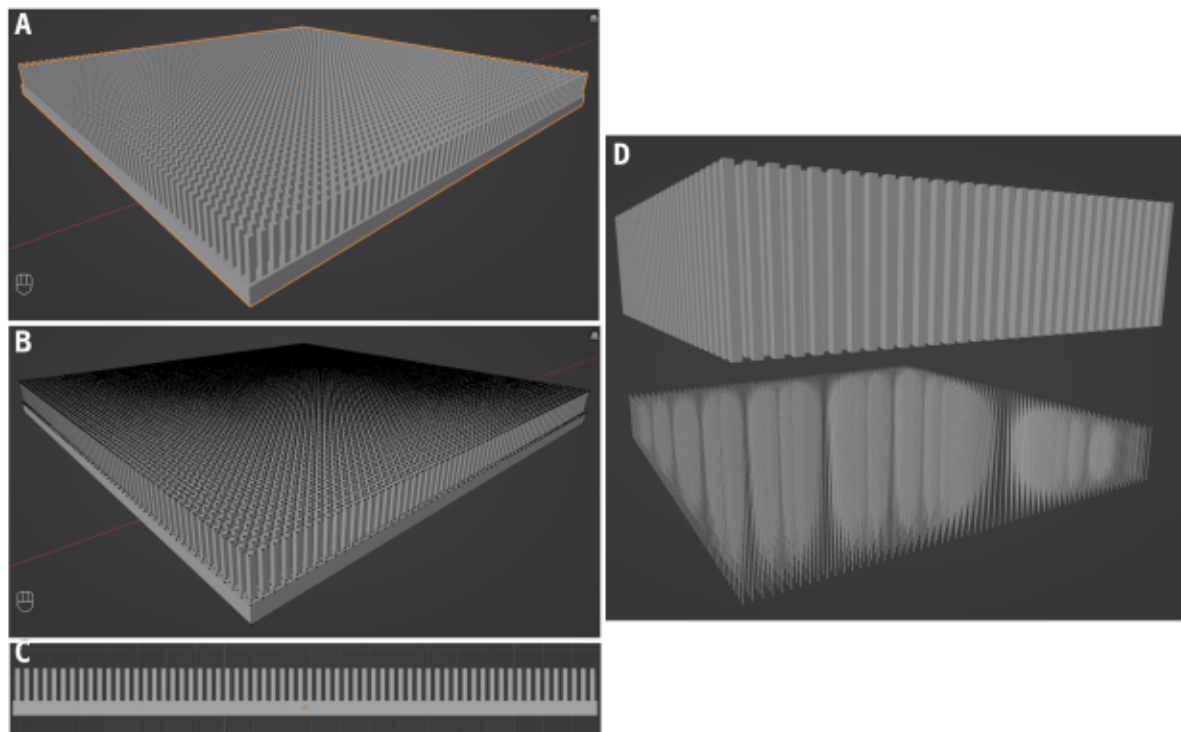


Figura 4: Capturas de tela do *software* Blender mostrando em A) estruturas replicadas sobre uma superfície quadrada, B) detalhes na malha do modelo, C) vista lateral e D) uma comparação entre duas propagações de estruturas iguais com dimensões e frequências diferentes.

5, uma captura de tela com a compilação das imagens do processo em uma *timeline* (apoio à pesquisa ao Prof. Dr. Fernando Vernilli EEL/USP).



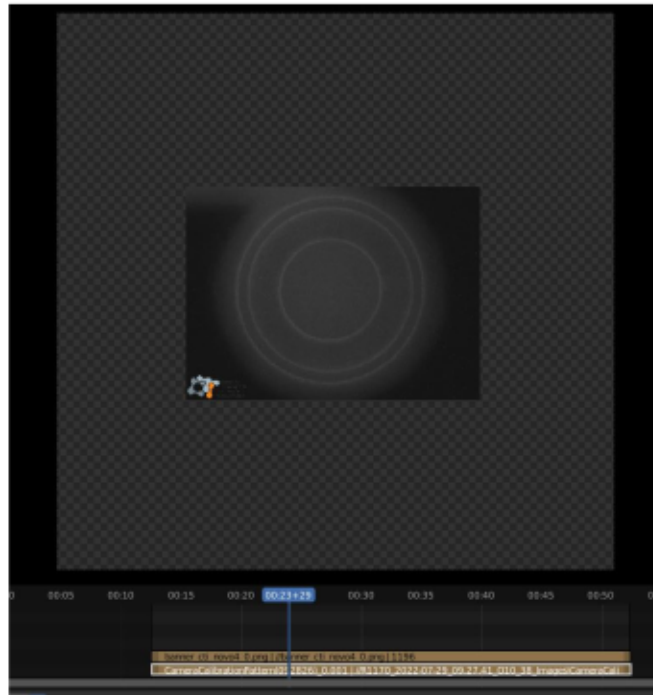


Figura 5: Capturas de tela do *software* Blender mostrando parte do processo para animação de imagens termográficas geradas no processo EBM.

#### 4. Conclusão

Para o desempenho de funções da rotina de produção do LAprint, o *software* Blender se mostrou uma opção viável para modelagem 3D, correção de malhas e apresentação de resultados na forma de animações. Desta forma, o *software* pode ser empregado de maneira satisfatória na análise de modelos complexos como os provenientes de casos ProMed, nos quais o arquivo stl é gerado a partir de imagens médicas no InVesalius e geralmente necessitam passar por correção e redução de malha para viabilizar a fabricação de peças e também diminuir o custo computacional.

Os resultados preliminares da utilização do Blender como programa de planejamento de processo são promissores, mas ainda são necessários novos testes e validações para que o método seja aperfeiçoado e finalmente utilizado na rotina de fabricação de peças em MA por SLS. As vantagens do Blender, em comparação com outros programas em uso no laboratório, são o custo e o acesso fácil ao código fonte para criação de versões, *plugins*, *add-ons* e para um melhor entendimento das funcionalidades do programa, o que justifica a continuidade das investigações para emprego do Blender no LAprint. Adicionalmente, estudos da aplicação deste *software* para fabricação com outras das tecnologias disponíveis no laboratório também estão em curso.

Como perspectivas tem-se a aplicação do processo de redução e correção de malhas para outras tecnologias como EBM que necessita de verificações mais rigorosas nas malhas. Com novos testes de planejamento de processo usando Blender, pretende-se finalizar a criação de perfis de máquina para SLS e para as demais tecnologias disponíveis no laboratório: FDM (Stratasys Vantage e Fortus), EBM (Arcam Q10) e PolyJet (Connex 350). O presente trabalho mostra que o processo de fabricação por manufatura aditiva com maquinário industrial para diferentes técnicas pode ter parte da rotina de trabalho otimizada com software livre, reduzindo os custos com aquisição de licenças de *software*, garantindo a agilidade no processamento de demandas.

## Referências

- AMORIM, P.H.; MORAES, T.F.; DA SILVA, J.V.L.; PEDRINI, H. In Vesalius. An interactive framework for health care support. **Advances in Visual Computing**, p. 45-54, 2015.
- ARANTES, J. T. Face shield developed by the University of São Paulo is produced by industrial firms. **Agência FAPESP**, 2020. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/modelo-de-viseira-de-protecao-desenvolvido-pela-usp-esta-sendo-produzido-por-industrias/32925/>. Acesso em: 10 de abril de 2022.
- BAUMERS, M.; HOLWEG, M. On the economics of additive manufacturing: Experimental findings. **Journal of Operations Management**, v. 65, n. 8, p. 794-809, 2019.
- BLENDER. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 30 de setembro de 2022.
- BLENDER STL. Disponível em:  
[https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/import\\_export/mesh\\_stl.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/import_export/mesh_stl.html). Acesso em: 30 de setembro de 2022.
- BLENDER BOOL TOOL. Disponível em:  
[https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/3d\\_print\\_toolbox.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/3d_print_toolbox.html). Acesso em: 30 de setembro de 2022.
- BLENDER 3D PRINT TOOLBOX. Disponível em:  
[https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/3d\\_print\\_toolbox.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/addons/mesh/3d_print_toolbox.html). Acesso em: 30 de setembro de 2022.
- LEACH, R.; CARMIGNATO, S. Precision metal additive manufacturing. Boca Raton, FL: CRC Press, 2020.
- LONGHITANO, G. A.; CANDIDO, G.; MACHADO, Leonardo M. R.; NETO, P. I.; DE OLIVEIRA, M. F.; NORITOMI, P. Y.; MAIS, F. G.; Souza, V. L. DE P.; DA SILVA, J. V. L. **Journal of 3D Printing in Medicine**, v. 4, n. 4, p. 193-202, 2020.
- PORTAL DE LABORATÓRIOS ABERTOS. Disponível em:  
<https://www1.cti.gov.br/colab/language/pt-br/index.html>. Acesso em 2 de outubro de 2022.
- TOMORROW - GOOGLE FONTS. Disponível em:  
<https://fonts.google.com/specimen/Tomorrow>. Acesso em: 2 de outubro de 2022.
- WOHLERS, T. Wohlers Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates Inc, 2019.