

PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA APLICADA EM DISPOSITIVOS FUNCIONAIS DE AUXÍLIO HUMANO

Filipe Wiltgen

Universidade de Taubaté – UNITAU
Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica
lfwbarbosa@gmail.com

Eduard Alcalde

Universidade de Taubaté – UNITAU
Mestrando em Engenharia Mecânica
eduard_ga@hotmail.com

Resumo. Este artigo tem a finalidade de apresentar a versatilidade da técnica de manufatura aditiva aplicada no desenvolvimento e construção de Dispositivos de Auxílio Humano (DAH) através da prototipagem rápida aditiva via impressora tridimensional (3D). O conhecimento adquirido de especialistas em ortopedia, tem beneficiado a engenharia biomecânica no desenvolvimento de próteses e órteses desde o surgimento das impressoras 3D. Fato este, que possibilita desenvolver e testar novas idéias rapidamente, e ainda, com a opção de fazê-las como um dispositivo personalizado para cada paciente. Entretanto, os custos desta área quase sempre são inacessíveis para grande parte da população. Foi pensando nisso, que há quase uma década, um projeto pioneiro de desenvolvimento de uma mão mecânica funcional, impressa em termoplástico, foi criado por um grupo de engenheiros por todo mundo. Este projeto fez surgir uma organização sem fins lucrativos (E-Nable) que tem como missão, encontrar para uma pessoa que necessita de um DAH, uma pessoa que esteja disposta a fabricar um DAH. Neste artigo traz o aperfeiçoamento obtido nas pesquisas realizadas em DAH e as novas adaptações criadas para a fabricação em impressoras 3D pessoais, na montagem das partes e na versatilidade de uso da mão mecânica em plástico.

Palavras chave: Manufatura Aditiva. Prototipagem Rápida. Impressão 3D. Protótipo. Dispositivo de Auxílio Humano.

1. INTRODUÇÃO

Existe uma técnica de manufatura que tem revolucionado a vida de jovens e crianças que necessitam de uma prótese de mão ou de braço, esta técnica é chamada de prototipagem rápida aditiva via impressão em 3D. Como estes dispositivos são protótipos e não são um produto comercial licenciado, são chamados de Dispositivos de Auxílio Humano (DAH).

Os projetos estão disponíveis em arquivos de impressão 3D e foram desenvolvidos por pesquisadores, engenheiros e inventores anônimos em uma rede de cooperação via internet a mais de uma década atrás. Os projetos desenvolvidos são disponibilizados na página de internet do E-Nable (enablingthefuture.org) de forma gratuita e com código aberto (*open source*). Informações sobre o E-Nable devem ser obtidas via sua página na internet.

O processo de prototipagem rápida aditiva (Alcalde e Wiltgen, 2018) foi desenvolvido para criar protótipos para testes e ensaios de forma mais rápida e com menor custo (Júnior, *et al.* 2018) do que as formas tradicionais de manufatura. A grande diferença que existe entre os processos de manufatura e a manufatura aditiva, que utiliza uma impressora 3D, estão relacionados a forma como este processo faz uso da matéria prima (Nishimura *et al.*, 2016).

A Manufatura Aditiva, como o próprio nome diz adiciona matéria prima no processo de fabricação, ou seja, faz uso de uma quantidade de matéria prima muito próxima da quantidade necessária para confeccionar o objeto. Em geral a matéria prima é depositada sobre uma plataforma para formar o objeto a cada camada. Na Manufatura Subtrativa, a matéria prima é subtraída, ou seja, retirada de material para que o objeto seja construído. Ao fazer isto, note que é necessário ter mais matéria prima do que a quantidade realmente útil para a fabricação do objeto, tal como faz um torno ou uma fresa, máquinas tradicionais de usinagem. Na Manufatura Formativa, utiliza a matéria prima na forma de um líquido com várias densidades diferentes para preencher uma forma, ou molde, que pode ser construído via a manufatura aditiva ou subtrativa. Neste processo, a quantidade de matéria prima é muito próxima da quantidade necessária para confeccionar o objeto, de forma similar ao que ocorre na manufatura aditiva. Na Figura 1 é possível observar os três processos de manufatura.

A manufatura aditiva, por adicionar apenas a quantidade útil de matéria prima para construir um objeto é mais econômica e rápida. Isto porque o uso da matéria prima é menor do que a manufatura tradicional subtrativa, e mais rápida do que a formativa, dado que a mesma necessita de manufatura aditiva ou subtrativa na construção do molde.

Máquinas de prototipagem rápida aditiva desenvolvidas até hoje atendem aos três principais tipos de clientes: os amadores que fazem uso de impressoras pessoais, ou *Home Office* de pequeno porte e custo reduzido, os pequenos e médios empresários que fazem uso de impressoras de porte médio e custo relativamente acessível para pequena produção de até 2.000 (duas mil) peças por mês, chamadas de impressoras profissionais ou comerciais, e por fim, as impressoras industriais de grande porte e alto custo geralmente empregadas em grandes centros de usinagem no qual a aplicação não é exatamente na produção, mas para o desenvolvimento de protótipos e matrizes utilizadas para acelerar a produção de manufatura tradicional (Zaparolli, 2019).

Esta pesquisa foi desenvolvida para as máquinas de impressão 3D chamadas de pessoais, de pequeno porte e de baixo custo (Deusdará *et al.*, 2016), inclusive fez parte desta pesquisa adaptar o arquivo de uma mão mecânica tradicional do E-Nable, de tal forma, a facilitar o processo de construção e de montagem da mão mecânica, além de disponibilizar modificações no polegar e dedo indicador, para facilitar o processo de segurar objetos e manipular as telas capacitivas (*touch screen*) de dispositivos móveis como telefones celulares e *tablets*, respectivamente.

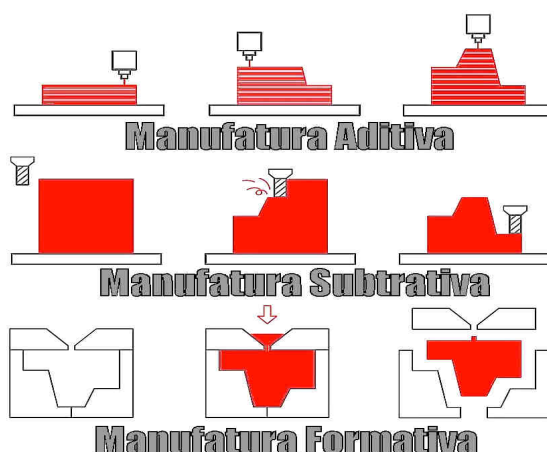


Figura 1. Tipos de Processos de Manufatura (Aditiva, Subtrativa e Formativa). Em vermelho o objeto construído.
(Adaptada de Rajiv Desai, 2018 (<http://drrajivdesaimd.com>))

2. O QUE É A PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA

A prototipagem rápida aditiva é baseada no uso das máquinas de impressão 3D (Yongnian *et al.*, 2009). A impressora 3D mais utilizada e difundida no mundo é baseada em um sistema de extrusão de plásticos moldados a altas temperaturas (*termoplásticos*), conhecida como FDM (*Fused Deposition Modeling*) que é o processo de deposição de material termoplástico fundido sobre uma mesa de impressão no qual é construída camada por camada do objeto (Canciglieri, *et al.*, 2015, Bak *et al.*, 2013 e Goldberg, 2014).

A matéria prima utilizada em máquinas 3D FDM para construção de um objeto disponibilizada na forma de um cordão de filamento plástico bobinado em carretéis de aproximadamente 1kg, com espessura de 1,75 mm de diâmetro, e os tipos de plásticos mais comuns são o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) e o PLA (*Polylactic Acid*), ambos produzidos em várias cores diferentes conforme a necessidade. O termoplástico mais fácil de utilizar, com melhor custo/benefício é o PLA. Este termoplástico é biodegradável, além de poder ser reaproveitado na confecção de novos filamentos para impressão 3D (Chua, 2010 e Volpato, 2007).

Apesar do tempo de manufatura da prototipagem rápida aditiva não ser curto como o desejado, ainda sim é uma opção mais rápida e de menor custo (incluindo o material) do que outros processos de manufatura tradicionais.

3. CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVOS DE AUXÍLIO HUMANO (DAH) IMPRESSOS EM 3D

Como estes DAH são construídos por voluntários, ou por familiares dos usuários, estes arquivos podem ser modificados conforme a necessidade de cada usuário, ou seja, são personalizados. Os arquivos de impressão e de projeto dos DAH, podem ser baixados gratuitamente pela internet na página do E-Nable.

A grande vantagem destes DAH impressos em 3D (Guerra Neto *et al.*, 2018, Silva *et al.*, 2014 e Júnior *et al.*, 2018), decorre do fato que a mão mecânica, não possui nem sensores e nenhum tipo de acionamento elétrico, e assim, não necessita de fonte de energia elétrica.

Todo o processo de funcionamento é mecânico utilizando apenas a energia mecânica proveniente do movimento das articulação das juntas do corpo humano. Do punho, quando o DAH é uma mão mecânica (Figura 2A), ou do cotovelo quando o DAH é um braço mecânico (Figura 2B). Esta pesquisa foi realizada baseada no aperfeiçoamento de uma mão mecânica do E-Nable chamada *Raptor Hand*, que é um dispositivo que faz uso da energia mecânica humana do punho para o acionamento de fechar e abrir a mão para manipular objetos. Foi desenvolvido especialmente para

manufatura aditiva via impressão 3D. Na Figura 2, existem dois dispositivos doados pelo autor principal para crianças no Brasil entre 2014 e 2015. Na Figura 2A, é possível observar os tendões (elásticos e rígidos) que são responsáveis pelo movimento da mão quando o punho é flexionado. Quando isto ocorre, a mão se fecha devido aos tendões rígidos, e se abre automaticamente devido aos tendões elásticos.

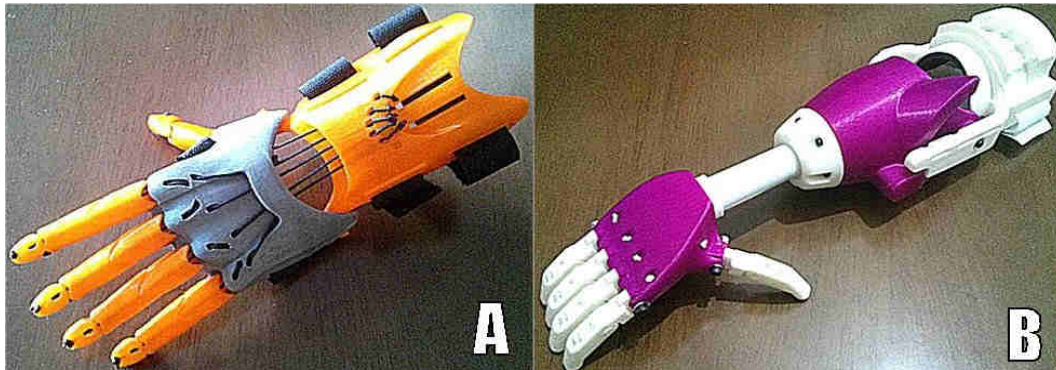


Figura 2. Mão DAH (A) e Braço DAH (B). Ambos construídos em impressora 3D de baixo custo.
(Próprio Autor)

4. APERFEIÇOAMENTOS E MELHORIAS NO DAH DE CÓDIGO ABERTO RAPTOR HAND

O DAH funcional e capaz de substituir movimentos básicos de uma mão ou um braço humano, acionados apenas por energia mecânica humana, de baixo custo, leves, versáteis e de código aberto (*open source*) podendo ser confeccionado em qualquer impressora 3D. Isso é realidade desde 2008 na organização não governamental do E-Nable.

Devido as necessidades modernas como o uso de aparelhos portáteis (celulares e *tablets*), foram realizadas modificações importantes nos dedos, na palma, nas ancoragens dos tendões, nos pinos de travamento, do suporte do polegar, na movimentação independente do dedo indicador e o novo canal no dedo indicador para a passagem do sistema de condução capacitiva até a extremidade do dedo.

O sistema de suporte do polegar, agora rotacional, permite ao usuário modificar o ângulo da posição de travamento para permitir segurar com mais facilidade um aparelho celular. Na Figura 3A, nota-se o movimento de pinça e o acionamento individual do dedo indicador. A Figura 3B, apresenta a vista explodida das peças da *Raptor Hand* modificada nesta pesquisa, as peças em vermelho são as que sofreram mais modificações.

A palma da mão foi dividida em três partes, para facilitar o movimento, proporcionar mais conforto e leveza ao usuário, e diminuir o custo de fabricação, tanto em tempo, quanto em quantidade de matéria prima.

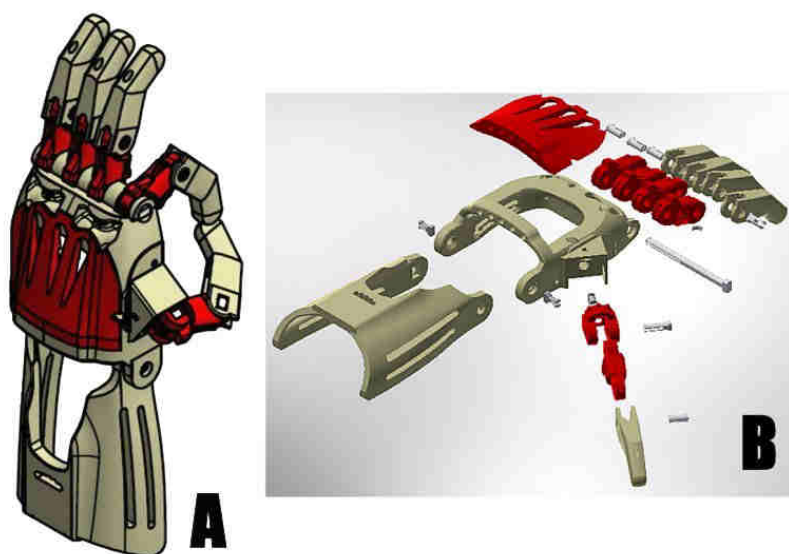


Figura 3. Projeto da mão *Raptor Hand* modificada DAH completa (A) e visão explodida DAH modificado (B).
Em vermelho as peças que foram as mais modificadas do DAH nesta pesquisa.
(Próprios Autores)

Outra modificação importante, principalmente para os jovens, é a condução capacitiva na ponta do dedo indicador. O próprio dedo indicador, além das modificações internas para permitir tornar o DAH capacitivo, também passou a ter a opção de acionamento individual. A capacitância que permite acionar as telas *touch screen*, nada mais é do que um sistema com fio de cobre bem fino que proporciona colocar em contato elétrico a palma ou punho do usuário direto com a ponta do dedo indicador, com uma pequena borracha condutiva amarela (círculo vermelho na Figura 4A) que permite fazer uso de um celular, assim como, pode ser visto na Figura 4B o DAH modificado desbloquear um aparelho celular.



Figura 4. Mão DAH flexionada (A) e dedo indicador com o *touch screen* (B).
(Próprios Autores)

5. CONCLUSÕES

A prototipagem rápida aditiva é uma ferramenta útil para ajudar crianças e jovens que necessitam de um DAH. Sem dúvida, é uma opção financeiramente mais atrativa, devido aos elevados valores das próteses comerciais, cerca de 40 (quarenta) a 80 (oitenta) vezes o valor de um DAH impresso em 3D FDM cujo custo é de ~R\$1.500,00 (mil e quinhentos reais), considerando a energia elétrica, cordas, elásticos, velcros, colas, ferramentas e a matéria prima (termoplástico), sem contabilizar o custo da manutenção e hora máquina de fabricação em 3D.

Sua durabilidade do DAH é indeterminada, mas devido ao desgaste natural do termoplástico e da sua rigidez característica, o DAH impresso em 3D FDM deve durar em torno de 02 (dois) anos. O DAH em 3D FDM é frágil, não pode ser molhado ou exposto a altas temperaturas, nem mesmo a períodos prolongados no sol. Apesar disto, é uma boa alternativa de inclusão social.

Durante esta última década pesquisando e desenvolvendo DAH foi possível perceber que as crianças possuem uma adaptação natural imediata a estes dispositivos. Inclusive quase sempre solicitam os dispositivos com cores vivas e de destaque. Toda vez que é perguntada a cor para o DAH, ou porque da escolha de uma cor tão vibrante, como pode ser visto nas Figuras 2A e 2B (DAH doados a crianças), a resposta é sempre a mesma: quero que todos vejam que sou “biônico”. Diferentemente do que um adulto faria, ao tentar disfarçar o uso de um DAH, as crianças e jovens fazem questão de mostrar e passam a utilizar os dispositivos de forma rotineira.

A montagem do DAH aqui apresentado ficou mais simples devido as modificações, permitindo ajustar e inserir mais facilmente os tendões e os pinos de travamento dos dedos. Quanto ao sistema capacitivo, orientações vão permitir fazer a montagem detalhadamente, incluindo o diâmetro e o comprimento do condutor, além do local correto para a fixação do mesmo para permitir o contato entre a pele do usuário e a extremidade do dedo indicador com a borracha condutiva.

A fabricação deste novo dispositivo ficou mais rápida (cerca de 30%), o tempo de montagem ficou menor (cerca de 25%), peso ficou menor (cerca de 15%) proporcionando maior conforto.

Os resultados desta pesquisa foram publicados na dissertação de mestrado do engenheiro que é o co-autor deste artigo. As orientações de montagem e de impressão 3D estão sendo preparados junto com os arquivos de impressão 3D (CAD, STL e OBJ) que serão enviados e disponibilizados de forma gratuita na página do E-Nable na internet.

O papel da ciência é prover e permitir que os avanços tecnológicos possam alcançar de forma ampla e acessível toda a população, ajudando a melhorar a vida dos seres humanos.

6. AGRADECIMENTOS

O autores agradecem a Universidade de Taubaté – UNITAU pela oportunidade de ministrar disciplinas e desenvolver a pesquisa na instituição como professor doutor convidado do programa de Mestrado em Engenharia Mecânica, e também, por ser estudante do programa de Mestrado em Engenharia Mecânica. O autor principal aproveita a oportunidade para agradecer o apoio financeiro concedido pela Empresa de Pesquisa, Tecnologia e Serviços da Universidade de Taubaté – EPTS que permitiu a participação neste evento.

7. REFERÊNCIAS

- Alcalde, E. e Wiltgen, F. “Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro” Revista de Ciências Exatas, Universidade de Taubaté (UNITAU), v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018
<<http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2757>>.
- Bak, D., “Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry – towards the latter” Assembly Automation, v.23 (4), p. 345, 2013 <<http://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>>.
- Canciglieri, O. J. et al. “Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos” Gestão de Produção, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015.
- Chua, C.K., Leong, K.F., Lim, C.S., 2010 *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. World Scientific, London.
- Deusdará, A.L.A., Rocha, P.S., Martins, A.B., Coelho, M.A. “A utilização da impressora 3D como solução aos altos custos das próteses de membros” In *Proceedings of XIII EVIDOSOL e X CILTEC*, junho, 2016 <<http://evidosol.textolivre.org>>.
- Goldberg, D., “The History of 3D Printing” Product Design and Development, p. 14–17, 2014 <<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>>.
- Guerra Neto, C.L.B., Nagem, D.A.P., Hékis, H.R., Coutinho, K.D., Valentim, R.A.M., 2018 *Tecnologia 3D NA SAÚDE. Uma visão sobre Órteses e Próteses*. Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D. SEDIS-UFRN Editora UFRN.
- Júnior, J.L.R., Cruz, L.M.S., Sarmanho, A.P.S., “Impressora 3D no desenvolvimento de pesquisas com próteses” Rev. Interinst. Bras. Ter. Ocup. Rio de Janeiro, v.2, p. 398- 413, 2018.
- Nishimura, P.L.G., Rodrigues, O. V., Júnior, G.B., da Silva, L.A., “Prototipagem rápida: um comparativo entre uma tecnologia aditiva e uma subtrativa”. In *Proceedings of the Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*, Belo Horizonte, Outubro 04-07, 2016.
- Silva, J.V.L., Maia, I.A., 2014 *Desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva utilizando impressão 3D. Reflexões Sobre Tecnologia Assistiva. I* Simpósio Internacional de Tecnologia Assistiva. Centro Nacional de Referência em Tecnologia Assistiva, CTI Renato Archer. Campinas, SP, 2ª versão.
- Volpato, N., 2007 *Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações*. Edgard Blucher, 1ª edição.
- Yongnian, Y. N., Shengjie, L. I., Renji, Z., e Feng, L. I. N., “Rapid Prototyping and Manufacturing Technology?” Principle , Representative Technics , Applications and Development Trends, v.14, p. 1–12, 2009.
- Zaparolli, D. “O avanço da impressão 3D” Revista Pesquisa FAPESP, v. 276, p. 60-65, Fevereiro, 2019.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

ADDITIVE RAPID PROTOTYPING APPLIED IN HUMAN AID FUNCTIONAL DEVICES

Filipe Wiltgen

Universidade de Taubaté – UNITAU
Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica
lfwbarbosa@gmail.com

Eduard Alcalde

Universidade de Taubaté – UNITAU
Mestrando em Engenharia Mecânica
eduard_ga@hotmail.com

Abstract. *The aim of this article is to present a versatility of the technique of applied additivity in development and construction of human aid devices (HAD) through additive rapid prototyping search via three - dimensional (3D) printer. The knowledge acquired from specialists in orthopedics has benefited biomechanical engineering in the development of prostheses and orthotics since emergence of 3D printers. This fact, which makes it possible to develop and test new ideas quickly, and with the option to make them as a personalized device for each patient. However, costs of this area are almost always inaccessible to a large part of population. The project was developed as a one decade, was developed by a set of engineers all over the world. The project has made a non-profit organization (E-Nable) whose mission is to find for a person who needs a HAD. This article brings the improvement after harvest of new technologies, such as new adaptations made for production of 3D parts, assembly of parts and versatility of the use of mechanical hand in plastic.*

Keywords: *Additive Manufacturing. Rapid Prototyping. 3D printing. Prototype. Human Aid Device.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.