

IMPRESSÃO 3D

Filipe S. Henrique, João H. N. Dal Prá, Lucas A. Barbosa, Rafael C. Zucherato, Yuri S. Rugeri
filipe.henrique@usp.br, joao.pra@usp.br, lucas.azevedo.barbosa@usp.br, rafael.zucherato@usp.br
ou yuri.rugeri@usp.br

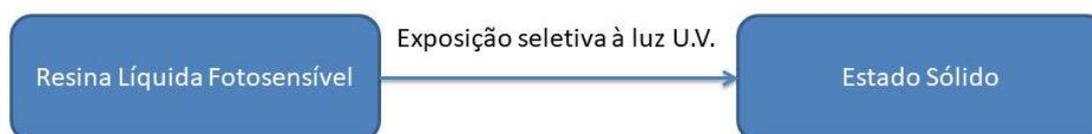
RESUMO

A manufatura aditiva é um processo de produção onde a união de materiais irá confeccionar um objeto determinado, a partir de um software de modelagem tridimensional. Ou seja, esse processo aditivo inicia a partir de um modelo tridimensional, passa por uma conversão (“slicing”) dentro da máquina que realizará a manufatura, para que finalmente os materiais possam ser depositados camada por camada obtendo o objeto requerido no início do projeto [1].

Atualmente, o processo mais conhecido de manufatura aditiva é a impressão 3D, sabe-se que esse modo de produção contém uma grande gama de objetos que podem ser produzidos, por mais que apresentem geometria complexa ou distintos materiais em sua composição. Por ter essa vantagem, a impressão 3D foi motivo de muito estudo nos últimos anos, isto trouxe muitos aperfeiçoamentos no processo o que ampliou as áreas em que essa fabricação atua. Surgiram também diferentes formas de classificar os métodos de manufatura aditiva. É possível classificar separando os métodos de manufatura aditiva de acordo com o estado da matéria prima, sendo eles líquido, filamento ou pó. [2, 3].

As tecnologias são divididas de acordo com a natureza do processo utilizado para a deposição de materiais. O primeiro a ser abordado são os que utilizam fotopolimerização, estes usam uma resina fotossensível que é exposta a uma forma de luz possibilitando sua cura. Um exemplo é a Estereolitografia (SLA), trata-se do primeiro método de manufatura aditiva desenvolvido comercialmente, seu funcionamento é simplificado na Figura 1.

Figura 1 – Método de manufatura da estereolitografia.

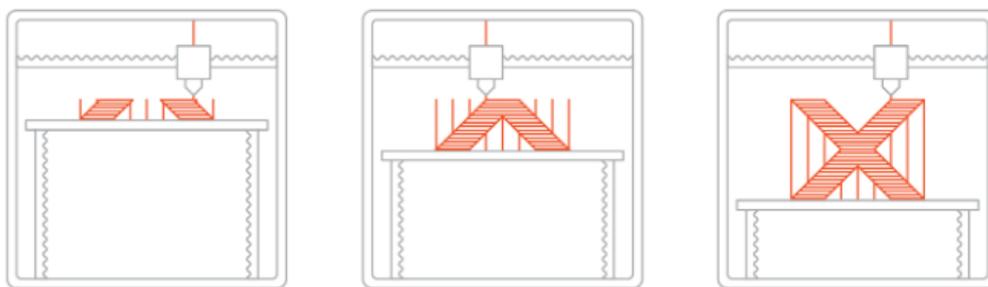


Fonte: do autor.

A estereolitografia é utilizada especialmente para a prototipagem rápida tem como maior vantagem sua rapidez. Historicamente foi desenvolvida para produtos poliméricos, embora tem se desenvolvido impressões de partes cerâmicas e metálicas a partir de suspensões em um monômero fotocurável [3, 4].

Também é possível utilizar de materiais extrudados como técnica de impressão 3D. um caso é o *Fused Deposition Modeling (FDM)*, É um dos métodos mais populares atualmente, consiste em um termoplástico fundido, vindo de um filamento, sendo depositado em camadas a partir de um cabeçote móvel em um substrato, a partir do processo de extrusão. [3, 4].

Figura 2 – Método de funcionamento do FDM



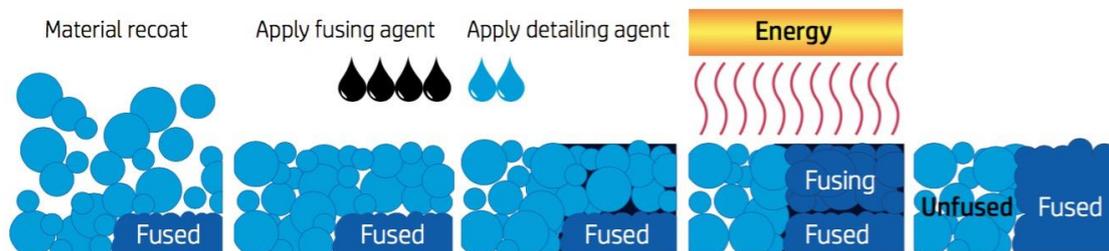
Fonte: ‘2019 3D Printing Technology Guide’, All 3DP. Disponível em: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/> Acesso em 24/08/2019.

Também é possível o uso de jateamento de material, como o método *Material Jetting (MJ)*, de todos os processos de manufatura aditiva, é o que mais se assemelha a uma impressão convencional. Um jato orientado gera uma camada de resina fotocurável e ao mesmo tempo uma luz U.V. é exposta para imediatamente curar a camada. Dentre suas vantagens estão a relação Eficiência/Custo e a rapidez. Outro método com uso de jateamento é o *Nano Particle Jetting (NPJ)*, utilizado para produção de peças cerâmicas ou metálicas em que o material jateado é de ordem nanométrica, de variados tamanhos e formas e aleatoriamente distribuídos para maior empacotamento. Por possuir dois cabeçotes, possibilita imprimir diferentes materiais para a peça e para apoio, sendo este um material facilmente solúvel, facilitando a sua retirada. [3, 4].

Outro meio é o uso de camadas de pós que serão sinterizados, exemplo disso é o método *Multi Jet Fusion (MJF)*, uma camada de grânulos do polímero é espalhada sob o substrato de trabalho e, em seguida, um agente fundente é aplicado nos locais onde estará a secção transversal da peça, facilitando a fusão do material, e um agente de detalhamento é aplicado no contorno para que

não ocorra fusão do material adjacente. Após isso, uma fonte de radiação aquece a camada toda e apenas os locais desejados são fundidos e sinterizados [3, 4]. A Figura 3 ilustra o processo.

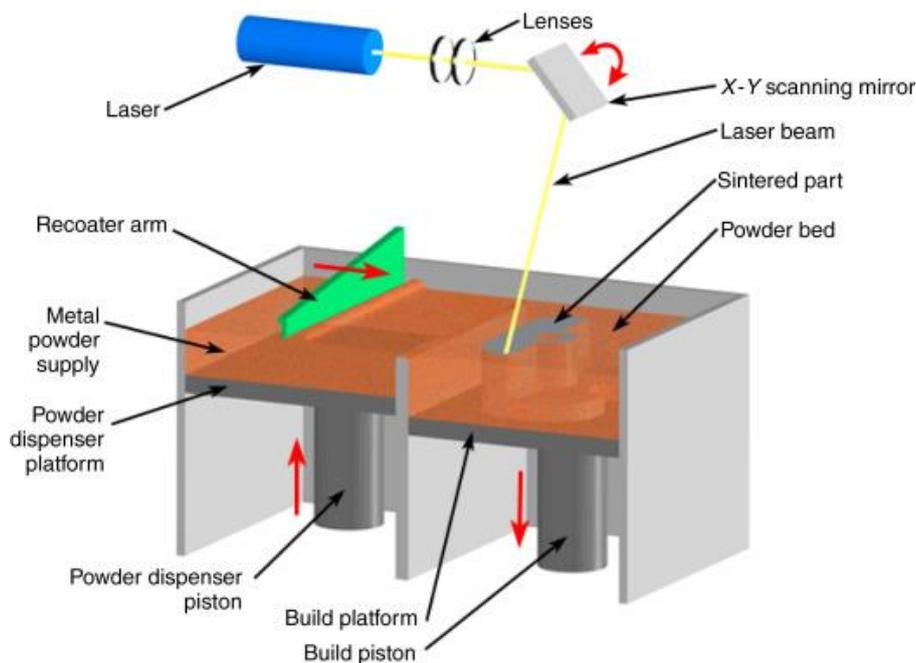
Figura 3 – Processo de manufatura aditiva por MJF



Fonte: Schematic of HP multi-agent printing process. Disponível em: <https://www.3printr.com/hp-officially-launches-multijet-fusion-3d-printers-0839036/>. Acesso em 24/08/2019.

Outros meios de uso de camadas de pós são: *Selective Laser Melting (SLM)*, *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)* e *Electron Beam Melting (EBM)*. O princípio é o mesmo da SLS, porém é utilizado pó metálico ao invés de polímero. A diferença entre a SLM e a DMLS é que a primeira trabalha apenas com a fusão de elementos metálicos puros, enquanto a segunda envolve ligas, ambas utilizando laser de alta potência. Já a EBM utiliza feixe de elétrons para a fusão de metais puros e ligas. [3, 4].

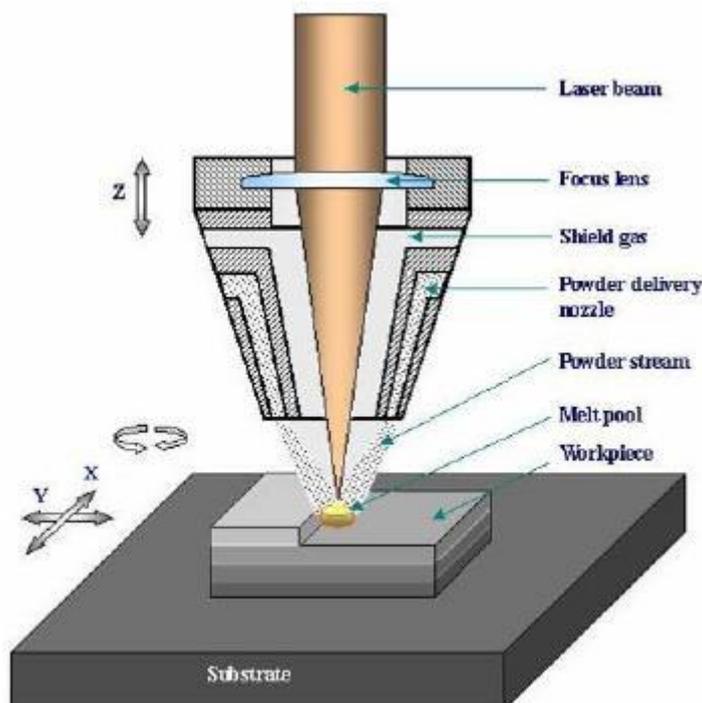
Figura 4 – Esquema representativo dos processos SLS, SLM, DMLS e EBM



Fonte: Selective Laser Melting – an overview. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/selective-laser-melting>. Acesso em 25/08/2019.

É possível o uso de deposição direta de energia e existem dois métodos. O primeiro chama-se *Laser Engineered Net Shape (LENS)*, em que o pó metálico é injetado diretamente em uma poça de fusão no substrato, criada por um laser de alta potência. É possível controlar o tipo de material que é depositado e a taxa de deposição, criando materiais com gradiente funcional [5]. O Segundo método chama-se *Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM)*, semelhante à LENS, porém utiliza feixe de elétrons para fundir o material metálico e a alimentação pode ser feita tanto por pó quanto por filamento. [6]

Figura 5 – Representação esquemática dos processos LENS e EBAM



Fonte: Laser Engineered Net Shaping – an overview. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laser-engineered-net-shaping>. Acesso em 25/08/2019.

Por fim, há o método de laminação de camadas, com dois principais métodos, o *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, folhas de papel, tecidos de fibras ou filmes poliméricos são colados uns aos outros com adesivo, camada a camada e, logo em seguida, cortados com laser ou lâmina. Nesse caso, propriedades mecânicas são limitadas ao poder de adesão entre camadas do adesivo [7]. E o outro método é o *Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM)*, finas chapas metálicas são unidas por soldagem ultrassônica e, camada a camada, são usinados de modo a obter a geometria desejada [8].

De modo geral, as propriedades dos materiais impressos acabam por serem piores, em relação a outros métodos. No caso de metais impressos, muitas pesquisas mostraram que as propriedades de tensão apresentam similaridades com processos de fundição e forjamento,



entretanto a grande questão da impressão de materiais metálicos é com relação a anisotropia gerada, principalmente quando se fala de resistência a fadiga, além do mais, tensões residuais podem ser geradas no processo, favorecendo a propagação de trincas. Dessa forma é necessário o uso de tratamentos térmicos e de superfície para a melhora das propriedades e da diminuição da influência da anisotropia [9].

Os polímeros, por sua vez, apresentam, de modo geral, piores propriedades mecânicas quando manufaturados em impressão 3D. Decorrido da manufatura por camadas, o material então passa a ter características anisotrópicas, em que a ligação entre as camadas representam regiões potenciais de falhas. Porém esse efeito pode ser reduzido dependendo da escolha do material e de parâmetros de processamentos [10].

Devida a uma solidificação rápida na impressão de materiais cerâmicos, trincas são geradas devido ao grande gradiente de temperatura, dessa forma há uma fragilização das propriedades mecânicas de materiais cerâmicos impressos, como a redução da vida útil do componente, devido a fácil ocasião de fraturas [11].

O futuro da impressão 3D está alicerçado no baixo tempo de fabricação e redução dos desperdícios de materiais. Entretanto, existem empecilhos que devem ser resolvidos, principalmente quando são utilizados metais no processo [12, 13, 14]. Peças metálicas produzidas por manufatura aditiva permitem o uso de menos energia e reduzem os desperdícios de material, além de serem até 60% mais leves do que peças semelhantes usinadas [13, 14].

Outro campo de inovações que está sendo estudado é a redução dos custos de peças de fibras de carbono com boa relação peso x resistência em relação aos processos de manufatura tradicional [12, 13]. Finalmente, uma área ainda em desenvolvimento e que tem grandes chances de crescimento é a de impressão 4D, que consiste em um mecanismo semelhante ao processo tradicional de impressão 3D, mas diferindo no uso de materiais e estruturas especiais para permitir que a peça adquira novos formatos mediante estímulo externo [15].

A parceria entre Ford Motor Company e Carbon permitiu o lançamento de peças poliméricas produzidas pelo processo digital no Salão Internacional do Automóvel de 2019, em Detroit [13]. A Carbon está trabalhando em conjunto com a montadora para o desenvolvimento de soluções para o setor automotivo e, para isso, o processo de fabricação digital está sendo aprimorado para permitir automação da inspeção e controle de qualidade das peças, por meio do rastreamento em tempo real [13, 16]. Peças como conectores, suportes e caixas foram produzidas pela impressão 3D contínua por interface líquida com o material EXP 82, epóxi de engenharia com alta resistência, grande durabilidade e ótimas propriedades mecânicas [13, 16]. Devido a tais características, o EXP 82 permitiu que as peças produzidas atendessem aos padrões exigidos pela indústria automotiva, como:

resistência a produtos químicos e ao calor em curto e longo prazo, estabilidade a raios UV, entre outros [13, 16].

Figura 6 – Peça impressa em 3D com o material EXP 82



Fonte: KERNS, J. 3D Printing: Trends in Manufacturing, Part 2. **Machine Design**. Nova Iorque, v. 91, n. 5, p. 66 - 71, abril 2019.

As empresas de calçados também têm impulsionado a manufatura aditiva, como é caso da parceria entre a Adidas e Carbon para produção de uma nova de linha de tênis [17]. O Adidas Alphaedge 4D utiliza tecnologia de impressão 4D para produção de um solado em estrutura única que se deforma para amortecer os impactos [18]. O material utilizado é o EPU, um poliuretano elastomérico que possui excelente resistência ao rasgamento e boa alongação, permitindo que seja utilizado para absorção de impacto e vibração [19].

Figura 7 – Tênis Adidas Alphaedge 4D



Fonte: KERNS, J. 3D Printing: Trends in Manufacturing, Part 1. **Machine Design**. Nova Iorque, v. 91, n. 4, p. 54 - 57, março 2019.

Outra parceria ocorreu entre a Huffman, empresa que produz softwares e equipamentos destinados a indústrias aeronáuticas e fabricantes de turbinas a gás para o setor de energia, e a Optomec, uma das maiores no ramo de impressão 3D de metais [13, 11]. Ambas as empresas estão fornecendo novos métodos de impressão 3D de metais pelo processo de DED (Direct Energy Deposition) destinados ao reparo de peças danificadas a um custo e gasto de material muito abaixo.

Palavras-chave: impressão 3D, manufatura aditiva, prototipagem, materiais.



Referências consultadas:

- [1] K. V. Wong, A. Hernandez, “A Review of Additive Manufacturing”, *University of Miami*, p.1-2, 2012.
- [2] J. A Lewis, G. M. Gratson. Direct writing in three dimensions. *Materials Today*, p.32-39, 2004.
- [3] N. Guo, M. Leu, “Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*”, [S. l.], p. 215-243, 2013.
- [4] T. Ngo, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges.” *Elsevier*, [S. l.], p. 172-196, 2018.
- [5] Liu, W.; DuPont, J. N. “Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineered Net Shaping.” *Scripta Materialia*, vol. 48, i. 9, p. 1337-1342, 2003.
- [6] Frazier, W. E. “Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*”, vol. 23, i. 6, p. 1917-1928, 2014.
- [7] Deckers, J.; Vleugels, J.; Kruth, J. “Additive Manufacturing of Ceramics: A Review.” 2014. 51f. *Dissertação de mestrado – Dept. of Mechanical Engineering, KU Leuven, Heverlee*, 2014.
- [8] Friel, R. J.; Harris, R. A. “Ultrasonic Additive Manufacturing – A Hybrid Production Process for Novel Functional Products.” *Procedia CIRP*, vol. 6, p. 35-40, 2013.
- [9] Kok, Y. “Anisotropy and heterogeneity of microstructure and mechanical properties in metal additive manufacturing: A critical review”, *Singapore*, 2017.
- [10] Ligion, S. C. “Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing”, 2017.
- [11] Hu, Y. “A review on laser deposition-additive manufacturing of ceramics and ceramic reinforced metal matrix composites”, *Texas Tech University, Lubbock*, 2018.
- [12] Kerns, J. “3D Printing: Trends in Manufacturing, Part 1.” *Machine Design*. Nova Iorque, v. 91, n. 4, p. 54 - 57, março 2019.
- [13] Kerns, J. “3D Printing: Trends in Manufacturing, Part 2.” *Machine Design*. Nova Iorque, v. 91, n. 5, p. 66 - 71, abril 2019.
- [14] Locker, A. “2019 Metal 3D Printer Guide – All About Metal 3D Printing.” *All3DP*. Alemanha, julho 2019.
- [15] Young, M. “What is 4D Printing? – All You Need to Know.” *All3DP*. Alemanha, maio 2019.
- [16] Carbon. *EPX: Epoxy*. Disponível em: <<https://www.carbon3d.com/materials/epx-epoxy/>>, acesso em: 23/08/2019.
- [17] Forbes. “How Adidas Plans To Bring 3D Printing To The Masses.” Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/andriacheng/2018/05/22/with-adidas-3d-printing-may-finally-see-its-mass-retail-potential/#1489d74f4a60>>, acesso em: 23/08/2019.



- [18] Adidas. “Adidas 4D: Feel the future.” Disponível em: <<https://www.adidas.com/us/4D>>, acesso em: 23/08/2019.
- [19] Carbon. “EPU: Elastomeric Polyurethane.” Disponível em: <<https://www.carbon3d.com/materials/epu-elastomeric-polyurethane/>>, acesso em: 23/08/2019.
- [20] Saunders, S. “Optomec Acquires Huffman to Increase Its 3D Printing Reach in the Gas Turbine Market.” *3DPrint.com*. Dezembro 2018.

3D PRINTING

Key-words: 3D printing, additive manufacturing, prototyping, materials.