



Manufatura Aditiva e Híbrida

Additive and Hybrid Manufacturing

Júlia Fornaziero de Almeida



Júlia Fornaziero de Almeida

- Engenheira Mecânica 
- Mestra em Engenharia de Produção 
- Doutoranda em Engenharia de Produção 
- Pesquisadora de Engenharia e Tecnologia **INDIGO**

LAPRAS



Nucleus for Advanced
Manufacturing

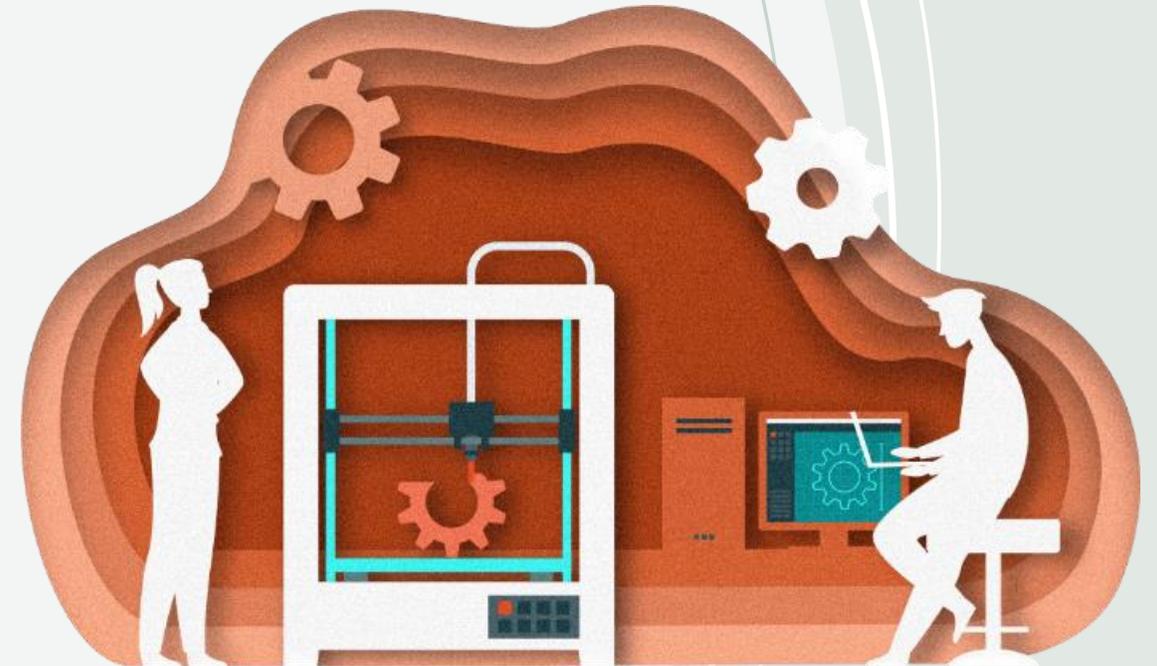


Laboratory for Advanced
Process and Sustainability



Tópicos da Apresentação

- 1** O que é MA?
- 2** Processos de MA
- 3** Aplicações
- 4** Benefícios e Barreiras
- 5** Manufatura Híbrida
- 6** Modelo de Negócios e Oportunidades
- 7** O futuro da MA





O que é Manufatura Aditiva (MA)?

“Processo de união de materiais para obtenção de peças a partir de dados de modelos 3D, geralmente **camada por camada**, diferentemente das metodologias de manufatura subtrativa e formativa” ISO/ASTM 52900

Usinagem



https://www.youtube.com/watch?v=i3JPvApWzmM&list=PLudvd9Sdp1YdMj1e0CgqsfDTIZG0U-0uL&index=4&ab_channel=IndustriasRomiSA

Impressão 3D



<https://www.youtube.com/watch?v=H7Vg5ru5Gtw>

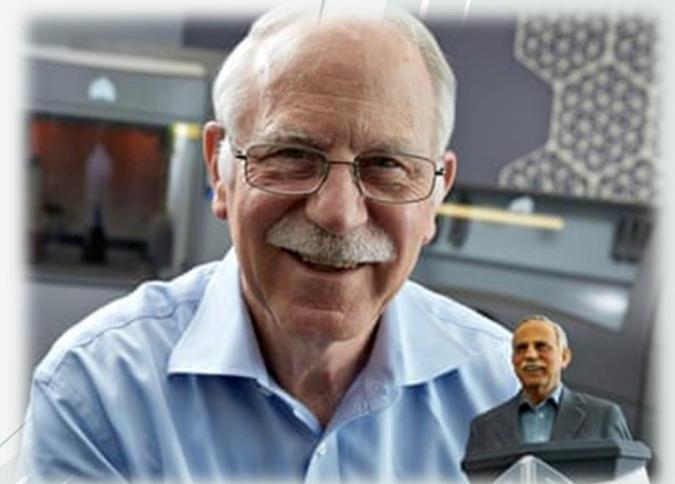
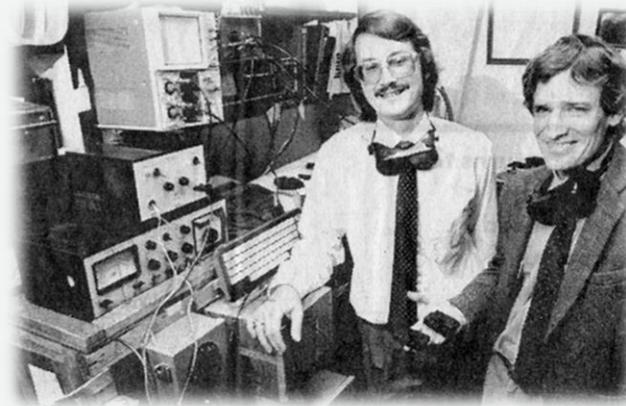


História da MA

Charles Chuck Hull **marcou a história da MA em 1986** com a criação da primeira técnica conhecida como Estereolitografia.

Termos utilizados para processos aditivos:

- ❑ **Manufatura Aditiva (MA);**
- ❑ **Prototipagem rápida;**
- ❑ **Impressão 3D;**
- ❑ **Desktop Manufacturing;**
- ❑ **Rapid tooling;**
- ❑ **Freeform Fabrication.**



Fundador da 3D Systems

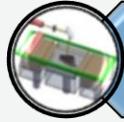


Sequência de Fabricação





Vat Photopolymerization (Fotopolimerização em Cuba)



Powder-Bed Fusion (Fusão em Leito de Pó)



Material Extrusion (Extrusão de Material)



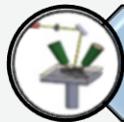
Material Jetting (Jateamento de material)



Binder Jetting (Jato de aglutinante)



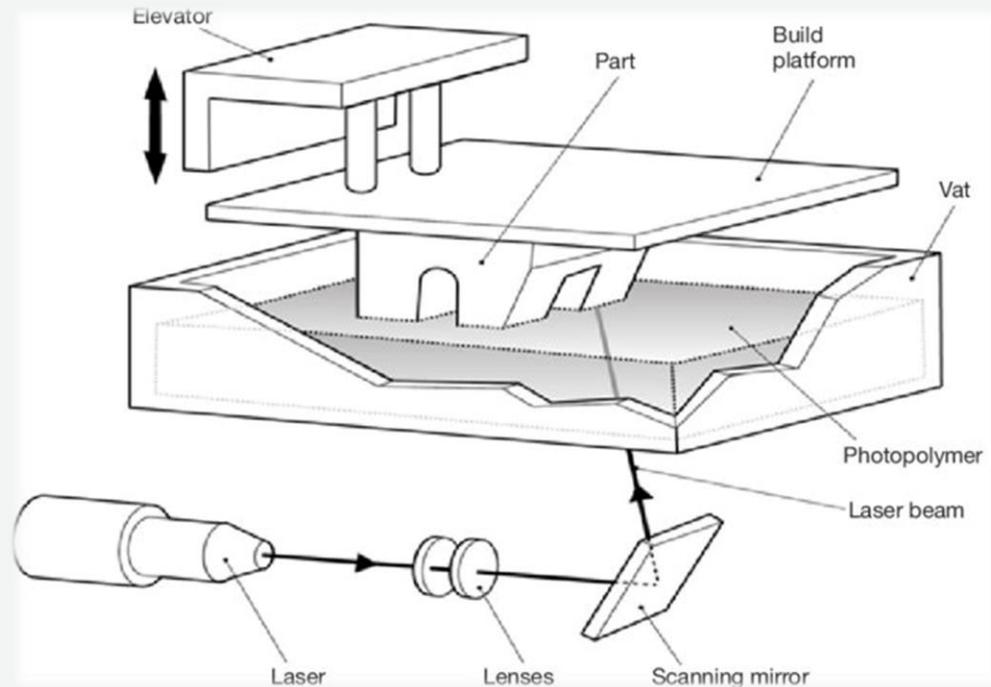
Sheet lamination (Laminação de Folha)



Directed Energy Deposition (Deposição por Energia Direcionada)



Vat Photopolymerization - Fotopolimerização em Cuba



Fonte: Otton et al. (2017)

- ❑ Utiliza líquidos como materiais: **resinas curáveis por radiação, ou fotopolímeros.**
- ❑ A maioria dos material reage à radiação ultravioleta (UV), mas alguns sistemas de luz visível também são usados.
- ❑ Tipos de radiação:
 - **UV (mais comum)**
 - Luz visível
 - Raios gama
 - Raio-X
 - Feixe de elétrons.

Vat Photopolymerization - Fotopolimerização em Cuba



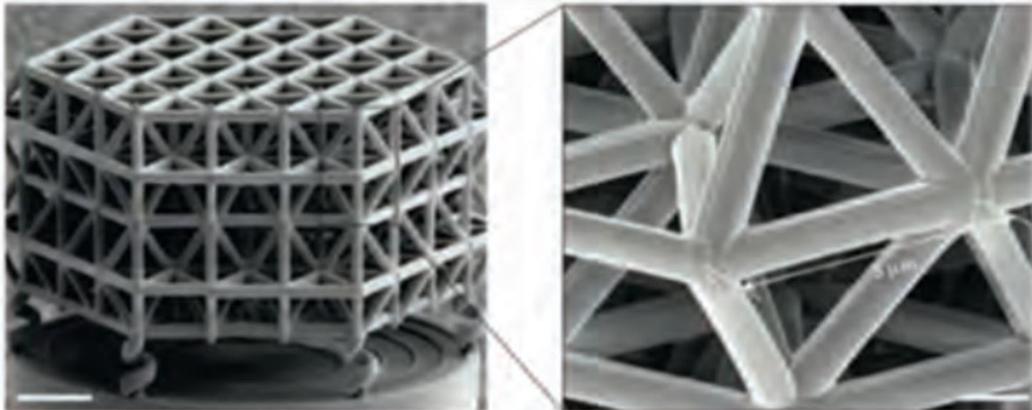
https://www.youtube.com/watch?v=fql_2zRixI0



Vat Photopolymerization - Fotopolimerização em Cuba

Variações ou nomes comerciais:

- ❑ Stereolithography Apparatus (SLA)
- ❑ Digital Light Processing (DLP)
- ❑ Continuous Liquid Interface Production (CLIP) by Carbon
- ❑ Daylight Polymer Printing (DPP) by Photocentric
- ❑ Photo-solidification
- ❑ Resin printing

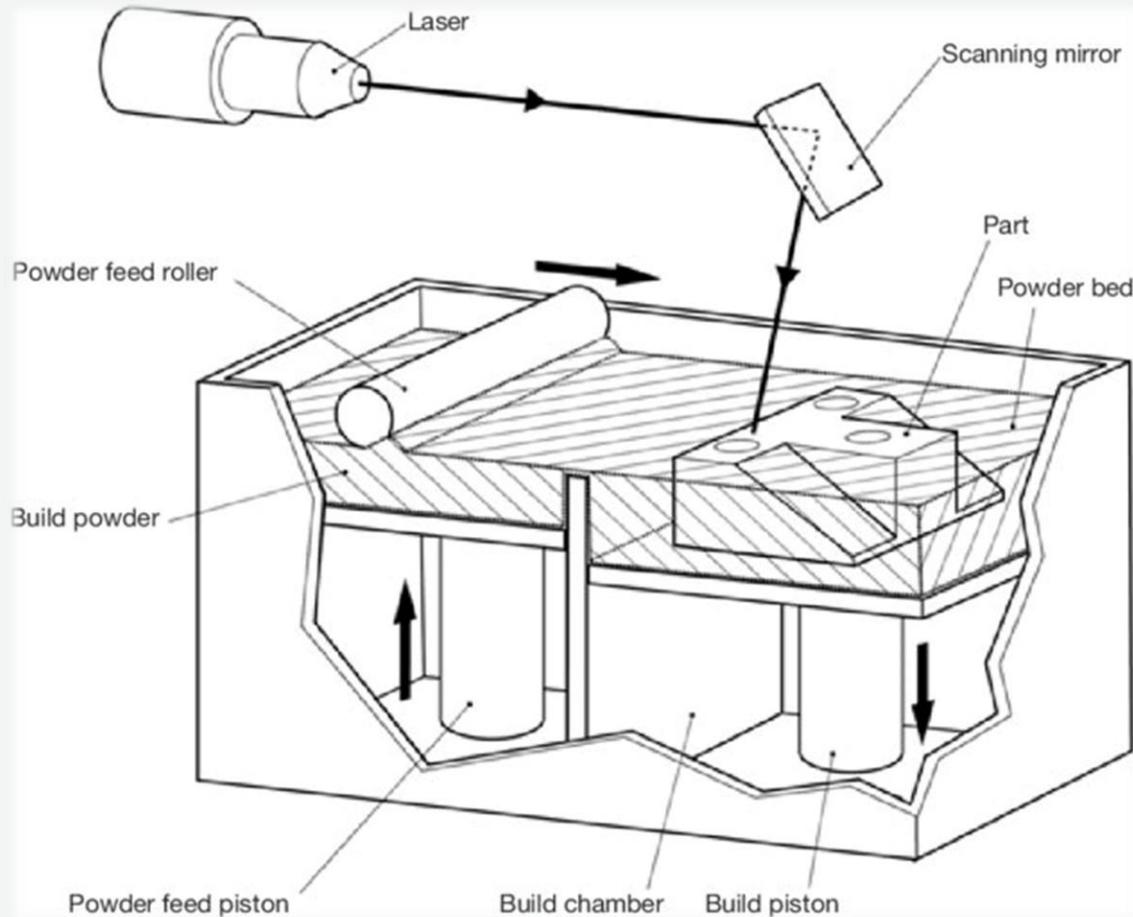


Materials

- ❑ Polímeros.
- ❑ Material compósito Plástico - Cerâmico



Powder Bed Fusion (PBF) - Fusão em Leito de Pó

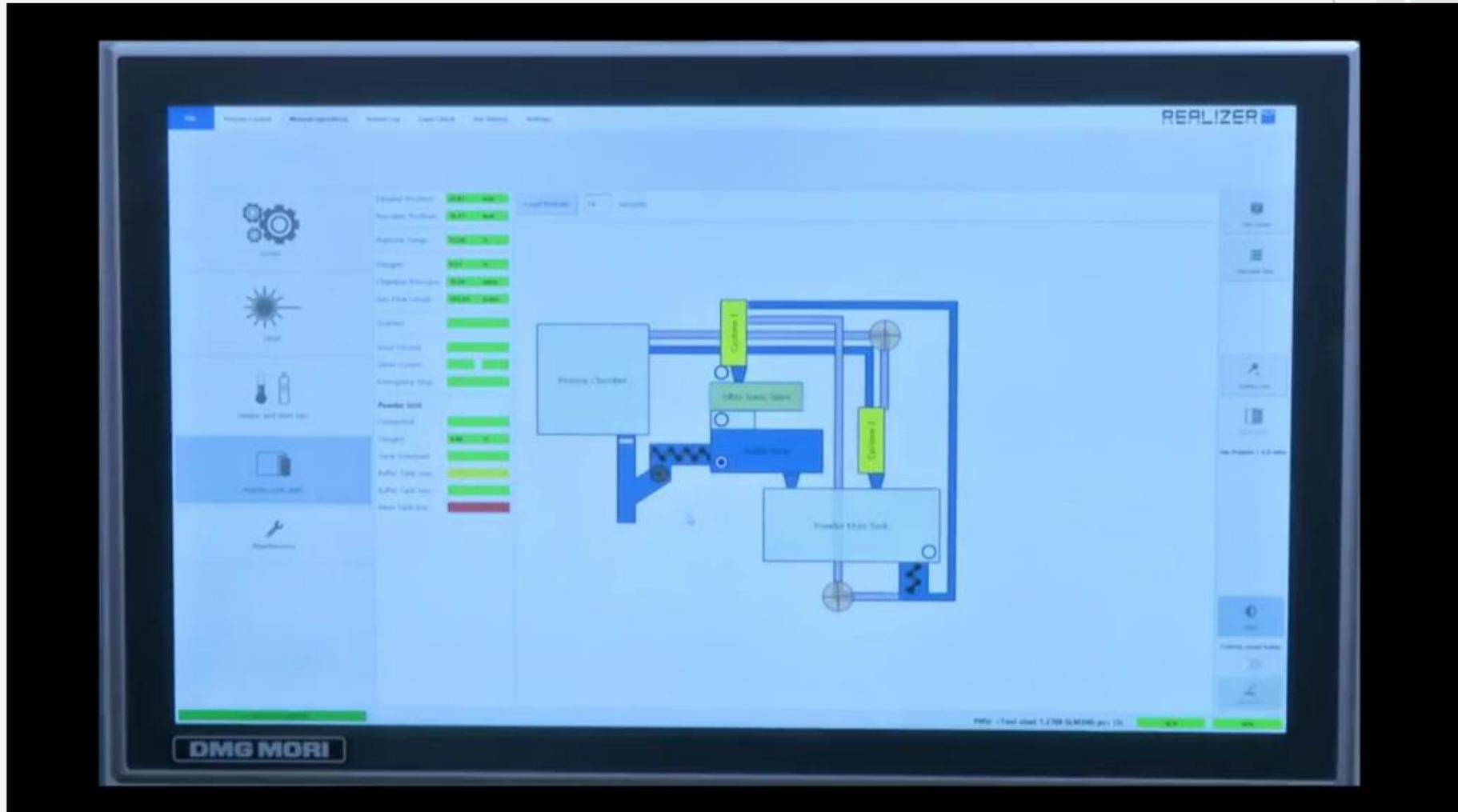


Fonte: Otton et al. (2017)

- ❑ Trabalha com uma ampla gama de materiais (Polímeros, metais, cerâmicas)
- ❑ A fonte de energia pode ser **Laser (L)** ou **Feixe de Elétrons - Electron beam (EB)**
- ❑ É a tecnologia de MA para metais mais aplicada, e possivelmente a **mais evoluída até o momento**



Powder Bed Fusion (PBF) - Fusão em Leito de Pó



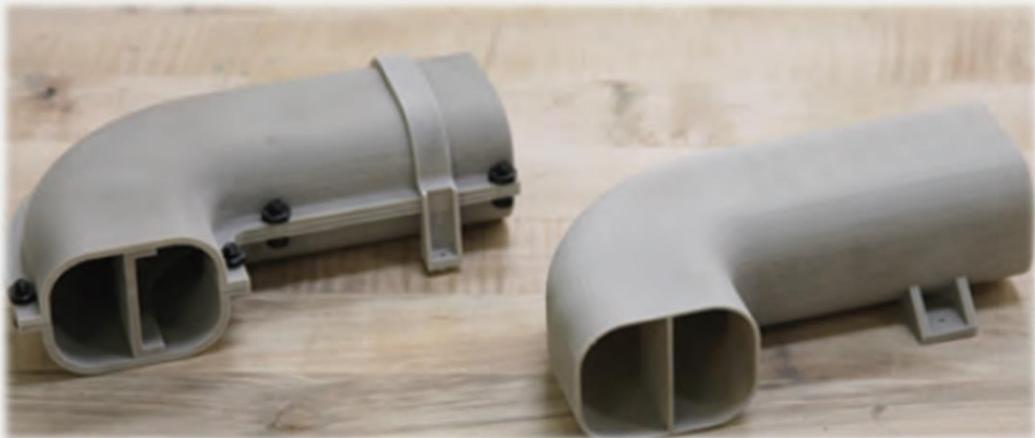
<https://www.youtube.com/watch?v=te9OaS20kf8&t=144s>



Powder Bed Fusion (PBF) - Fusão em Leito de Pó

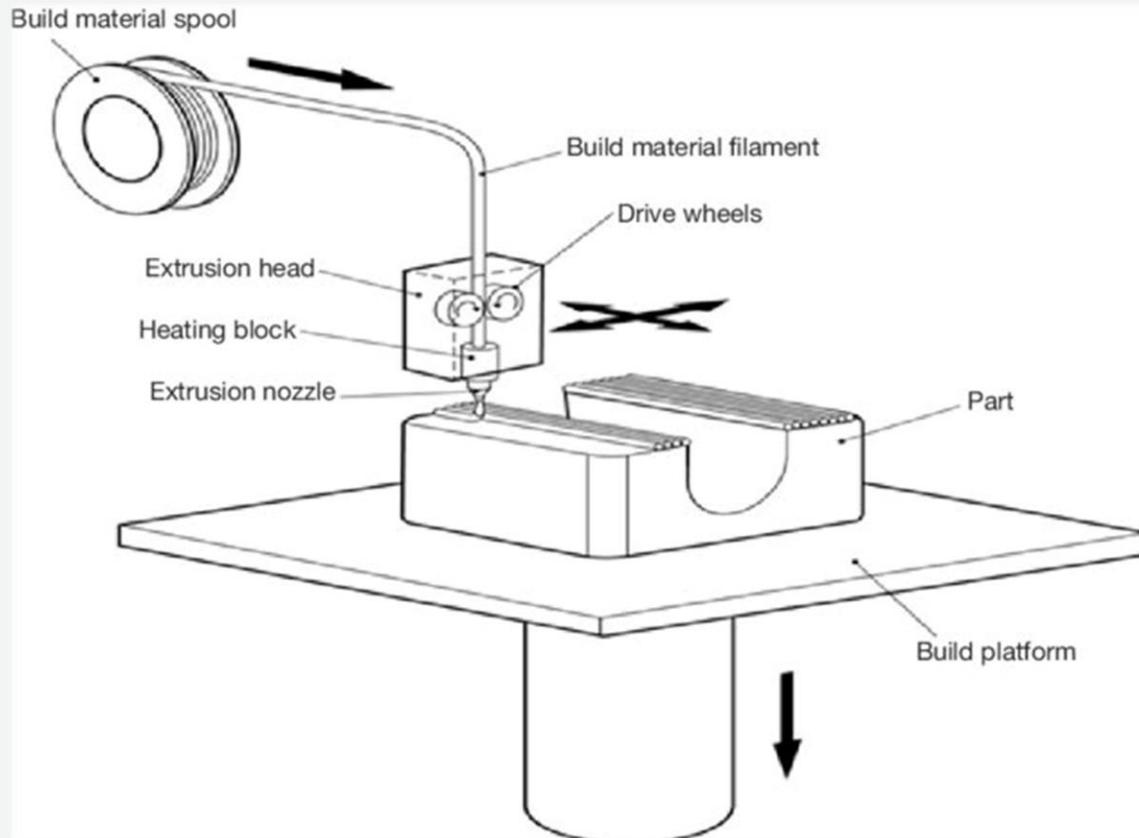
Variações ou nomes comerciais

- Selective Laser Sintering (SLS)
- Selective Laser Melting (SLM)
- Electron Beam Melting (EBM)





Material Extrusion - Extrusão de Material



Fonte: Otton et al. (2017)

❑ Mais popular do mercado

- Conhecida principalmente como processo
 - **FDM (Fused Deposition Modeling)**
 - **Fused Filament Fabrication (FFF)**

Materiais

- Polímeros.
- Cerâmicos
- Compósitos
- Alimentos*





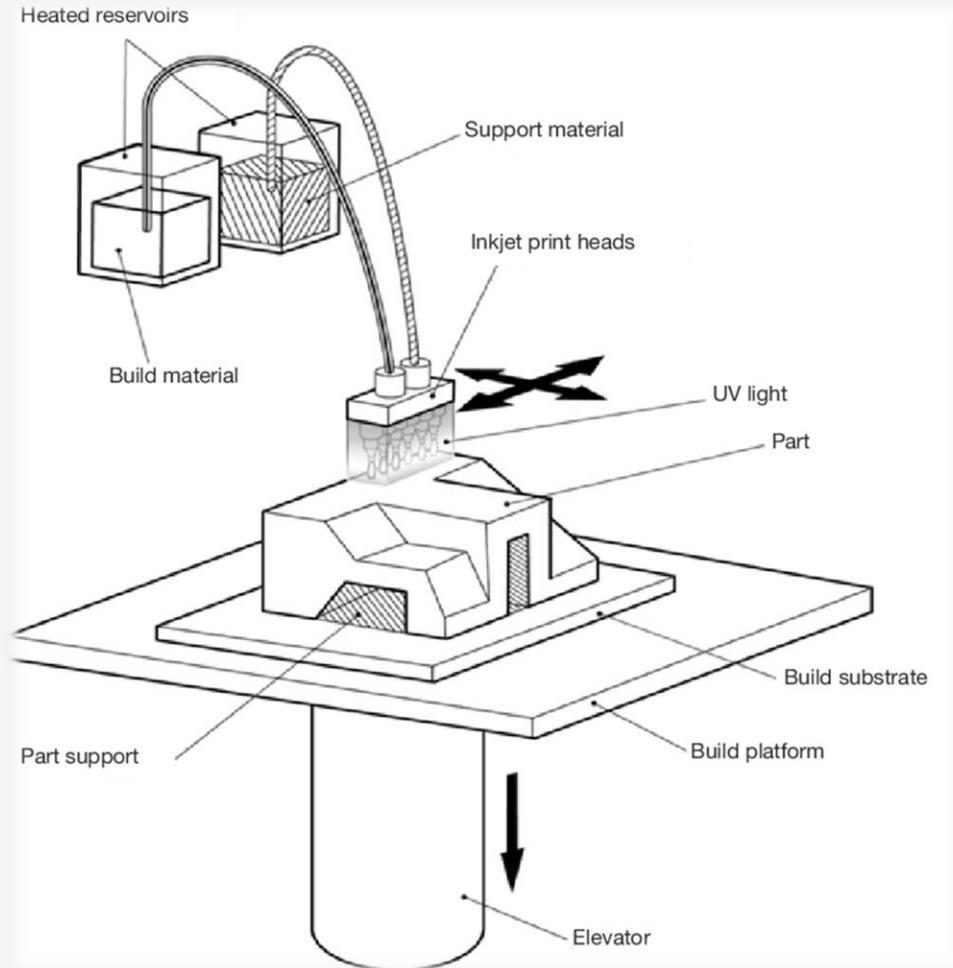
Material Extrusion - Extrusão de Material



https://www.youtube.com/watch?v=VQR_Q8_KhCs&t=71s



Material Jetting - Jateamento de material



Fonte: Otton et al. (2017)

- ❑ Todo o material da peça é dispensado de um **cabeçote de impressão**.
- ❑ Gotas do material são depositadas na superfície solidificam e formam a primeira camada **(curadas por luz UV)**.
- ❑ No pós-processamento é feita a remoção de material de suporte, lixamento, pintura.



Material Jetting - Jateamento de material



https://www.youtube.com/watch?v=_VcJfe-Dm0c



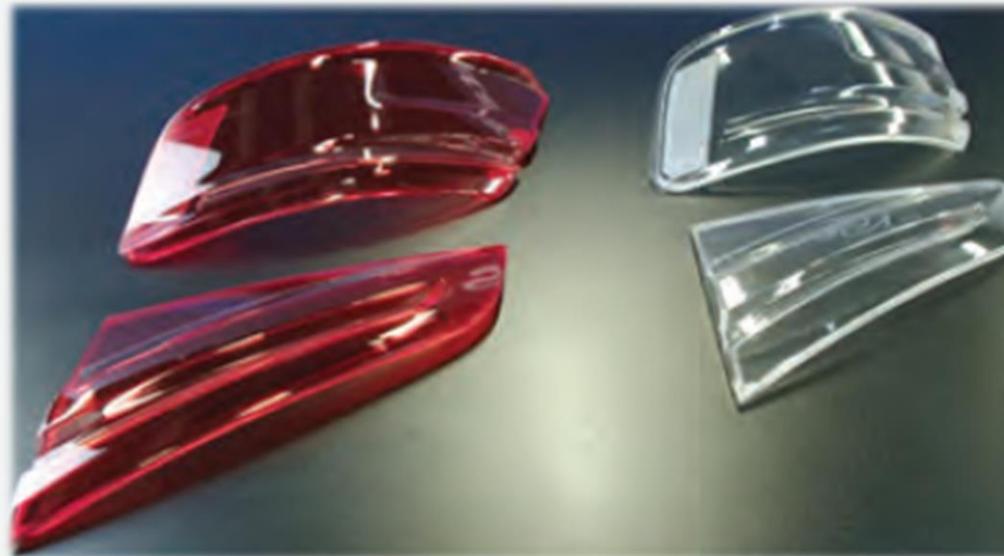
Material Jetting - Jateamento de material

Variações ou nomes comerciais

- ❑ Drop On Demand (DOD)
- ❑ PolyJet by Objet
- ❑ NanoParticle Jetting (NPJ) by XJet.

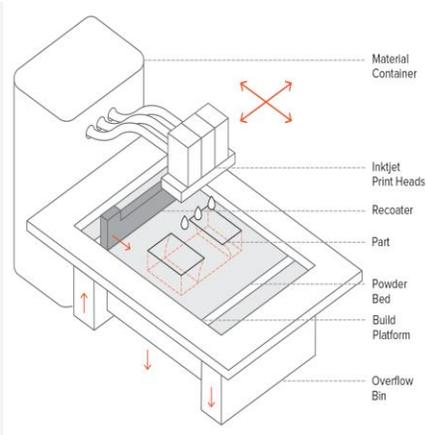
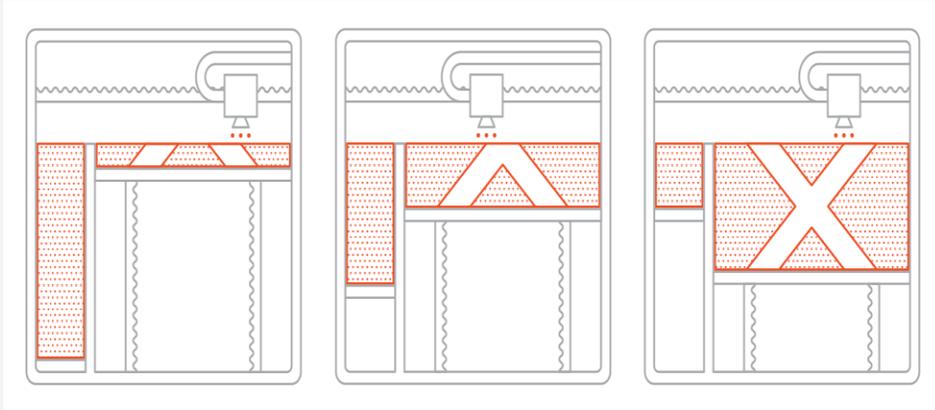
Materials

- Polímeros





Binder Jetting - Jato de aglutinante

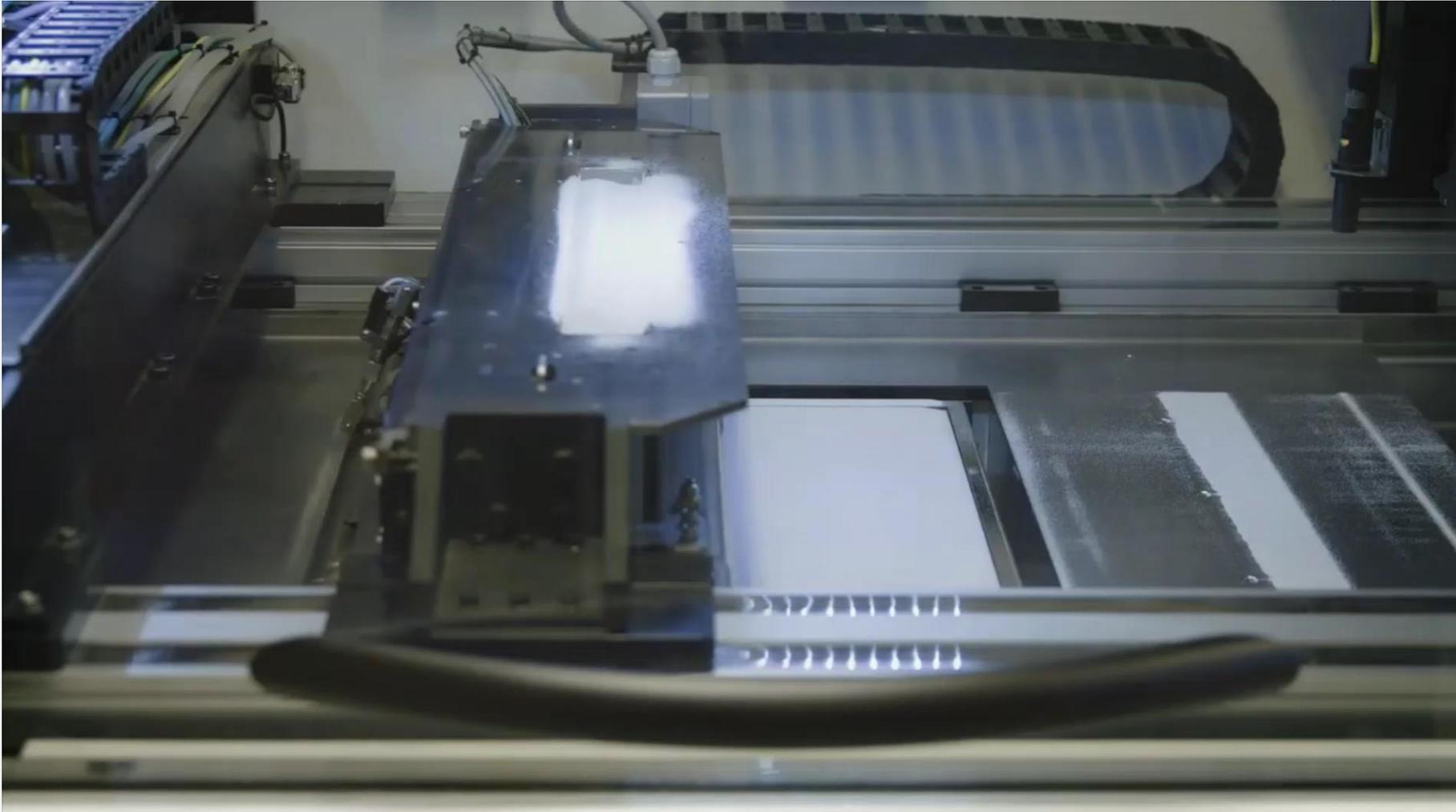


- ❑ Desenvolvido no início da década de 1990.
- ❑ Um **aglutinante é impresso em um leito de pó** para formar seções transversais da peça.
- ❑ Algumas máquinas de jato de aglutinante contêm bicos que **imprimem em cores**, não aglutinante, possibilitando a fabricação de peças com várias cores.

Fonte: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>



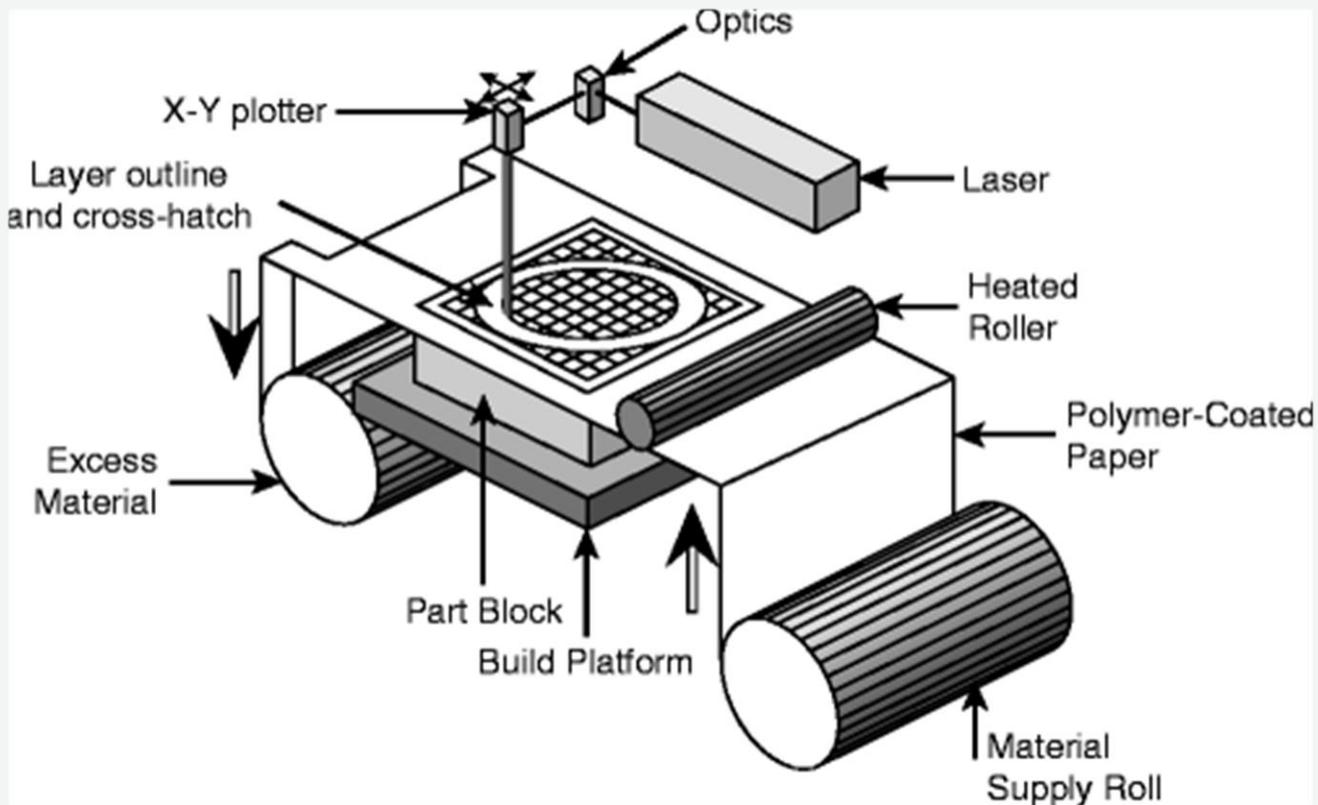
Binder Jetting - Jato de aglutinante



<https://www.youtube.com/watch?v=BV3s24sn0pQ>



Sheet lamination - Laminação de Folha



Fonte: Gibson I., Rosen D., Stucker B. (2010)

- ❑ Laminação camada por camada de folhas de papel, cortadas com **laser de CO2**.
- ❑ Cada folha representando uma camada transversal do modelo CAD da peça.
- ❑ Podem ser categorizados com base no mecanismo de ligação entre as camadas:
 - **Colagem ou ligação adesiva**
 - **Ligação térmica**
 - **Fixação**
 - **Soldagem ultrassônica**



Sheet lamination - Laminação de Folha



https://www.youtube.com/watch?v=TItry_6Q-Kk



Sheet lamination - Laminação de Folha

Variações ou nomes comerciais

- ❑ Composite Based Additive Manufacturing (CBAM)
- ❑ Selective Lamination Composite Object Manufacturing (SLCOM)

Materiais

- Metais
- Papel

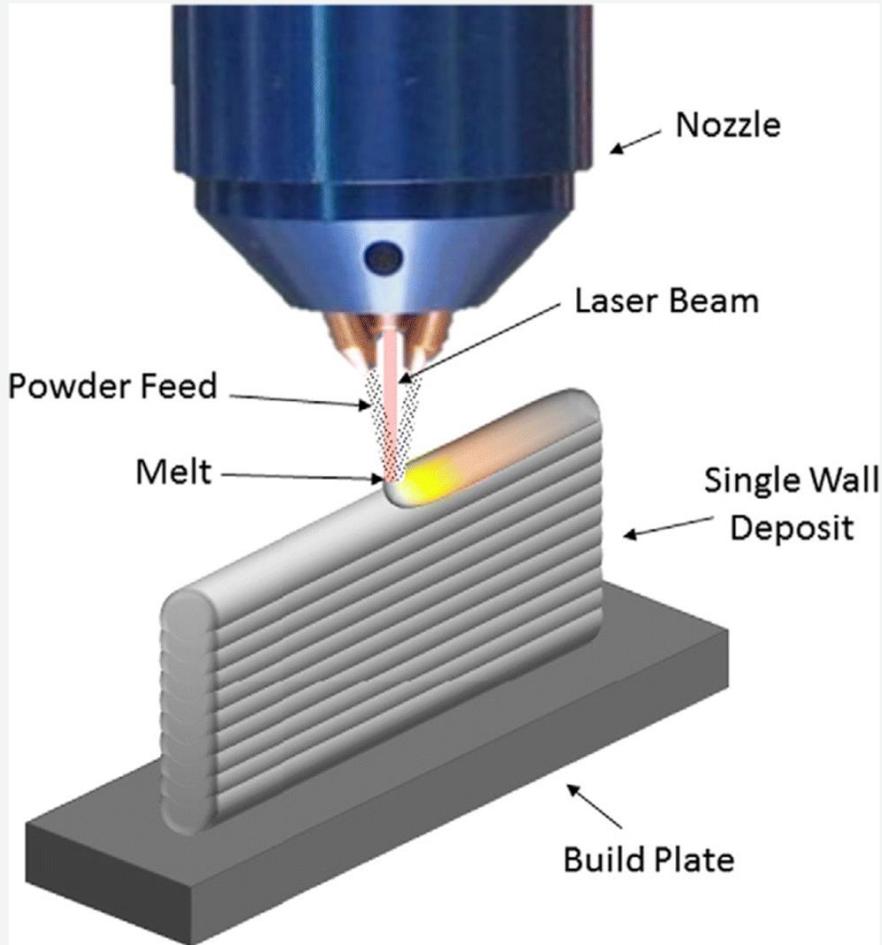


Fonte: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/sheet-lamination/>



Directed Energy Deposition (DED)

Deposição por Energia Direcionada



Fuente: Guan, X., Zhao, Y.F. (2020)

- ❑ Principalmente usada para **metais**.
- ❑ O processo funde **pós, ou arames** metálicos.
- ❑ O material é adicionado continuamente através de um bocal, sendo seu ponto focal direcionado a um feixe laser de alta potência.
- ❑ A peça é construída camada a camada em espaço livre, sendo possível visualizar a construção da peça

Directed Energy Deposition (DED) Deposição por Energia Direcionada



<https://www.youtube.com/watch?v=oL7bMhPTtDI>



Directed Energy Deposition (DED) Deposição por Energia Direcionada

Variações ou nomes comerciais

- Laser engineered net shaping - (LENS®)
- Laser Metal Deposition- (LMD)
- Laser cladding - (LC)
- Direct metal deposition - (DMD™)

Materiais

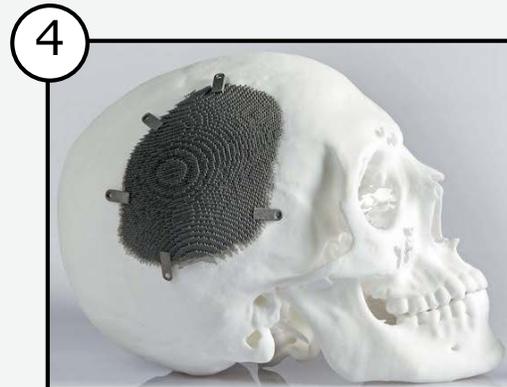
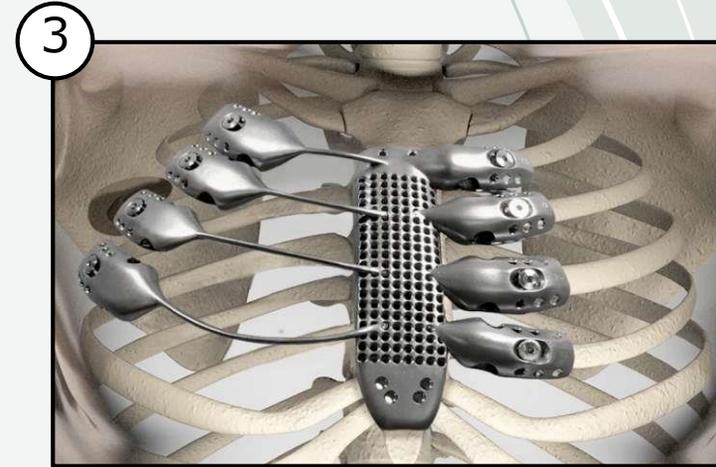
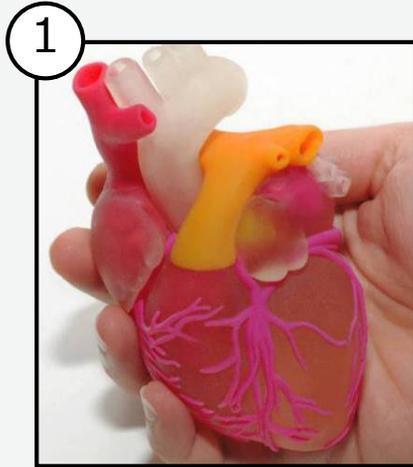
- Metais
- Cerâmicos



Fonte: <https://www.rpm-innovations.com/directed-energy-deposition.html>



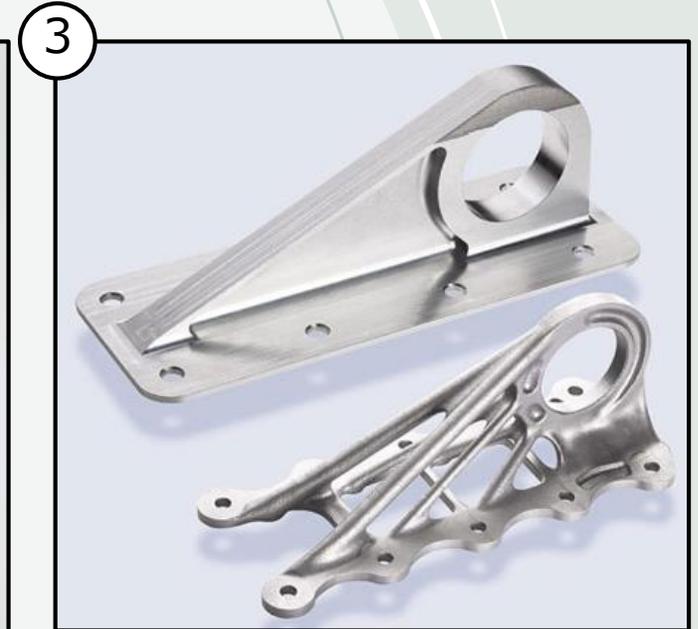
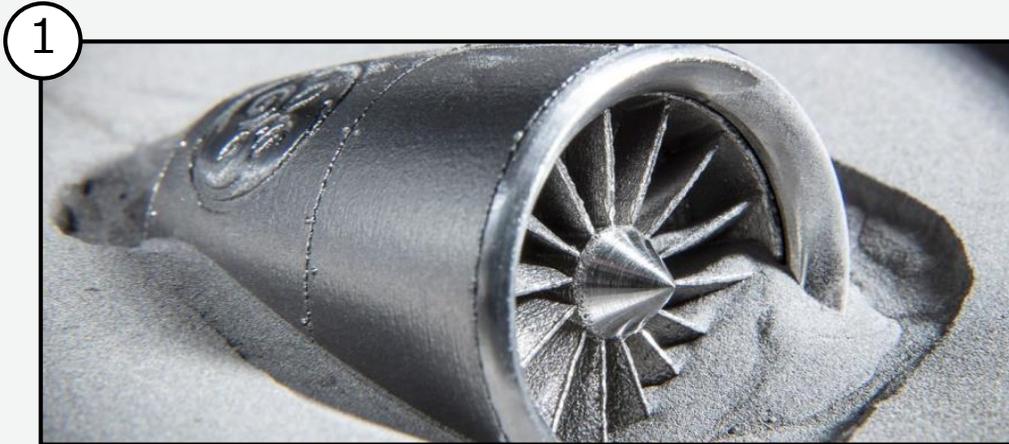
Aplicações - Indústria Médica



- 1) <http://petropolisnews.com.br/?p=37301>
- 2) <https://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/72466-protese-feita-impressora-3d-parece-filme-sci-fi.htm>
- 3) <https://www.lwtsistemas.com.br/2016/04/28/paciente-recebe-protese-costela-3d/>
- 4) <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/Stroke-patient-gets-life-back-with-3D-printed-cranial-implant-from-EOS/>
- 5) <https://3dprint.com/119885/wake-forest-3d-printed-tissue/>



Aplicações - Indústria Aeroespacial



- 1) <https://www.wevolver.com/article/additive-manufacturing.a.steps.stone.to.future.technologies>
- 2) <https://www.metal-am.com/introduction-to-metal-additive-manufacturing-and-3d-printing/applications-for-additive-manufacturing-technology/>
- 3) <https://www.3dnatives.com/en/additive-manufacturing-aerospace-growing-061220184/>
- 4) <http://additivemanufacturing.global/index.php/en/print-en/aerospace/3538-aerospace-eads-and-eos-study-demonstrates-savings-potential-for-dmls-in-the-aerospace-industry>



Aplicações - Indústria Automotiva



- 1) <https://www.metal-am.com/volkswagen-identifies-key-areas-metal-additive-manufacturing-automotive-applications/>
- 2) <https://www.eos.info/en/3d-printing-examples-applications/mobility-logistics/automotive-industry-3d-printing/serially-produced-vehicles>

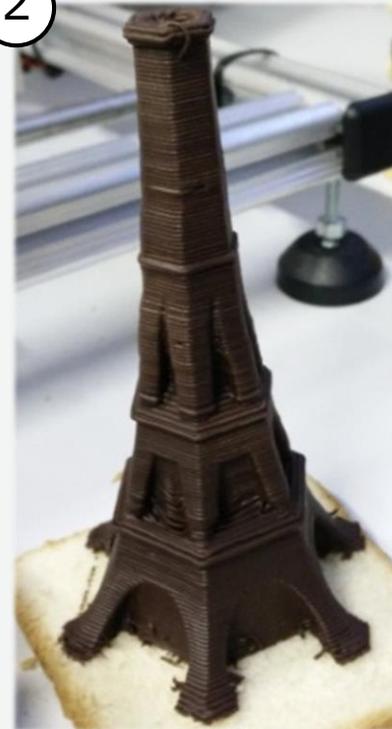


Aplicações - Indústria de Alimentos

1



2



- 1) <https://www.techtudo.com.br/listas/2018/10/impressora-3d-de-comida-conheca-modelos-que-criam-alimentos-de-verdade.ghtml>
- 2) <https://impressao3dprinter.com.br/blog/2014/10/22/uma-impressora-3d-modificada-para-imprimir-chocolate/>



Aplicações - Construção Civil

1



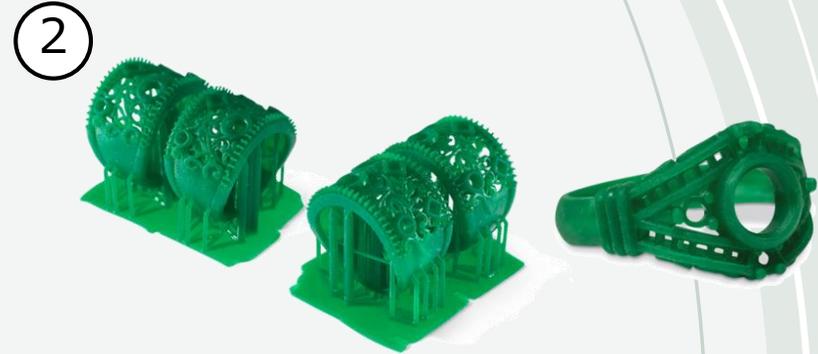
2



- 1) <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/01/empresa-chinesa-constroi-primeiro-edificio-do-mundo-com-uma-impressora-3d.html>
- 2) <https://mx3d.com/projects/>
https://www.youtube.com/watch?v=1r_Azsa4nqU&ab_channel=MX3D



Aplicações - Diversos setores

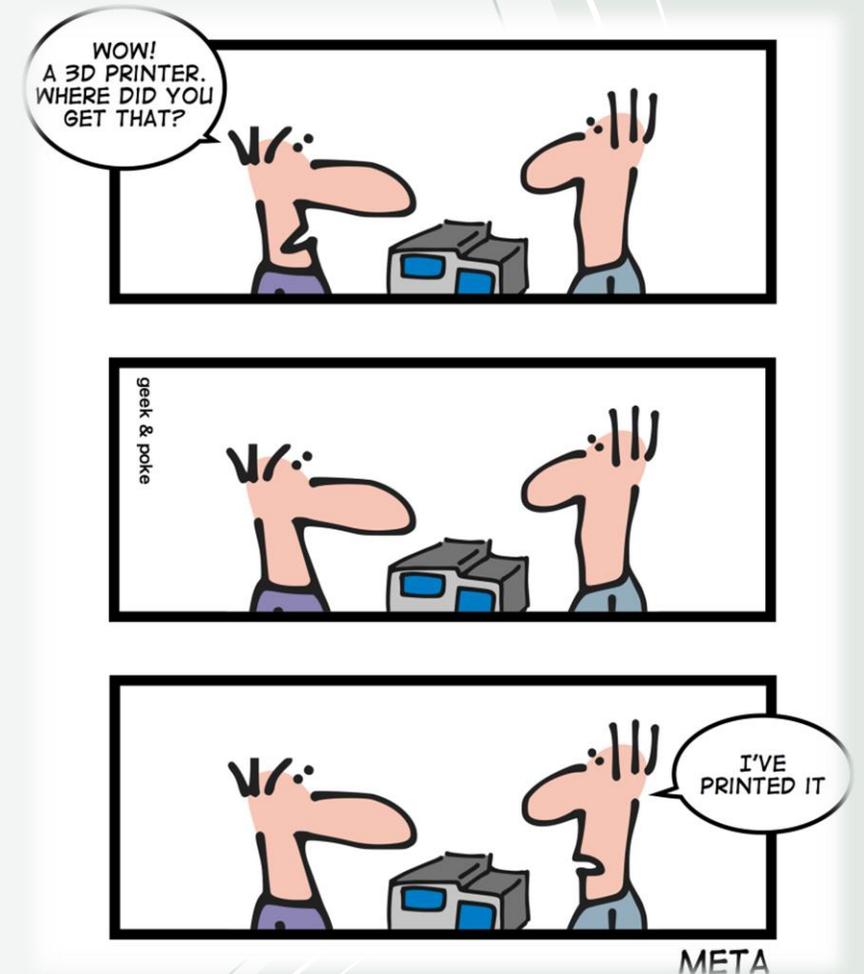


- 1) https://www.youtube.com/watch?v=Kxk_FAjidfA&ab_channel=SportsInsider
- 2) <https://br.3dsystems.com/3d-printers/fabpro-1000/jewelry>
- 3) <https://www.superstrata.bike/>



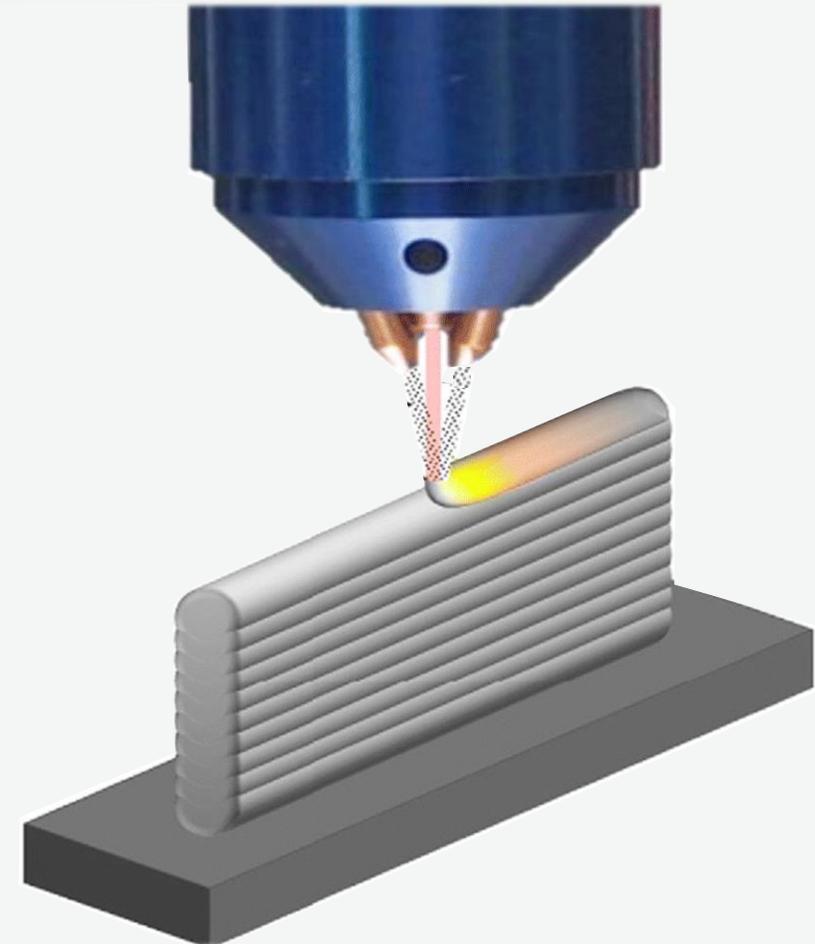
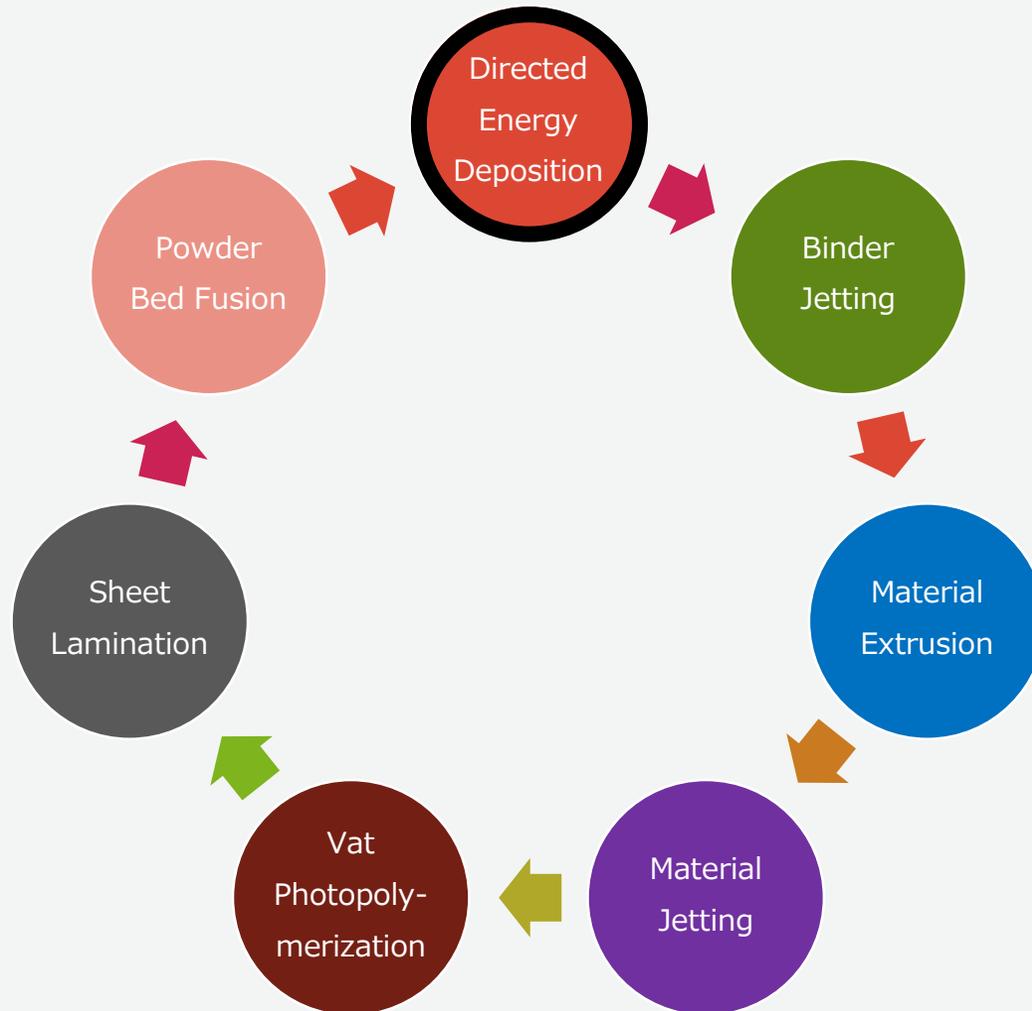
Benefício da MA

- ❑ Capacidade de criar modelos **sob encomenda**
- ❑ **Elimina etapas de produção**
- ❑ Customização em massa
- ❑ Resposta rápida a oportunidades de negócio
- ❑ **Produção local** facilitando a logística
- ❑ Flexibilidade
- ❑ Reduz significativamente o tempo para a comercialização
- ❑ **Capaz de reduzir o peso de componentes** através da otimização topológica
- ❑ **Acelera o processo de desenvolvimento do produto**





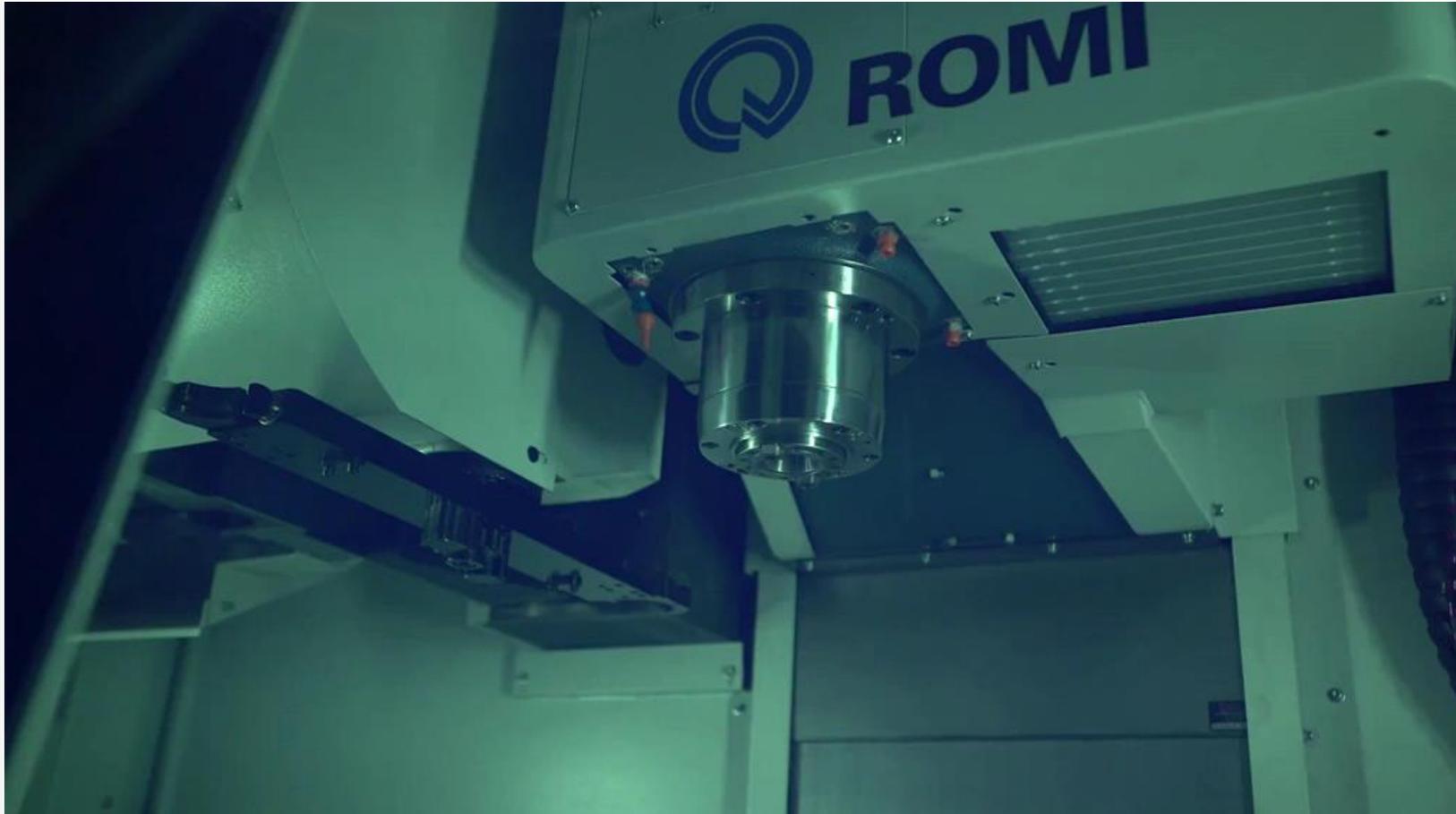
Manufatura aditiva para metais





Manufatura Híbrida (MH)

MH = **Manufatura Aditiva** + **Manufatura Subtrativa**

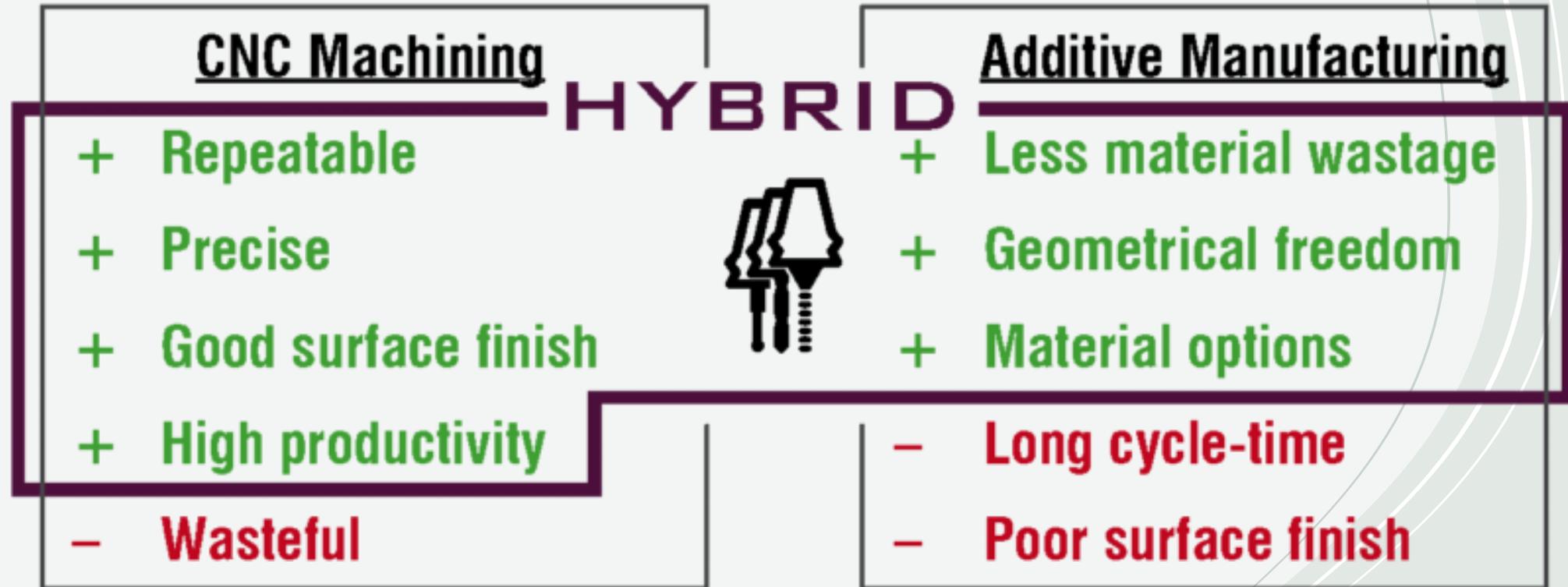


- Fabricar geometrias complexas de uso final
- Reparar peças metálicas
- Produzir componentes multimateriais

<https://www.youtube.com/watch?v=2OQ2HUPIMHU>

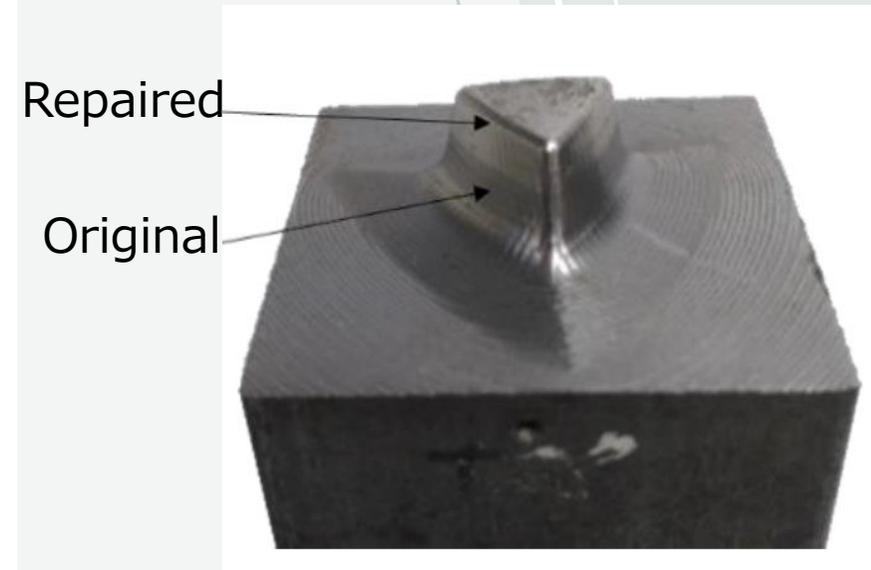
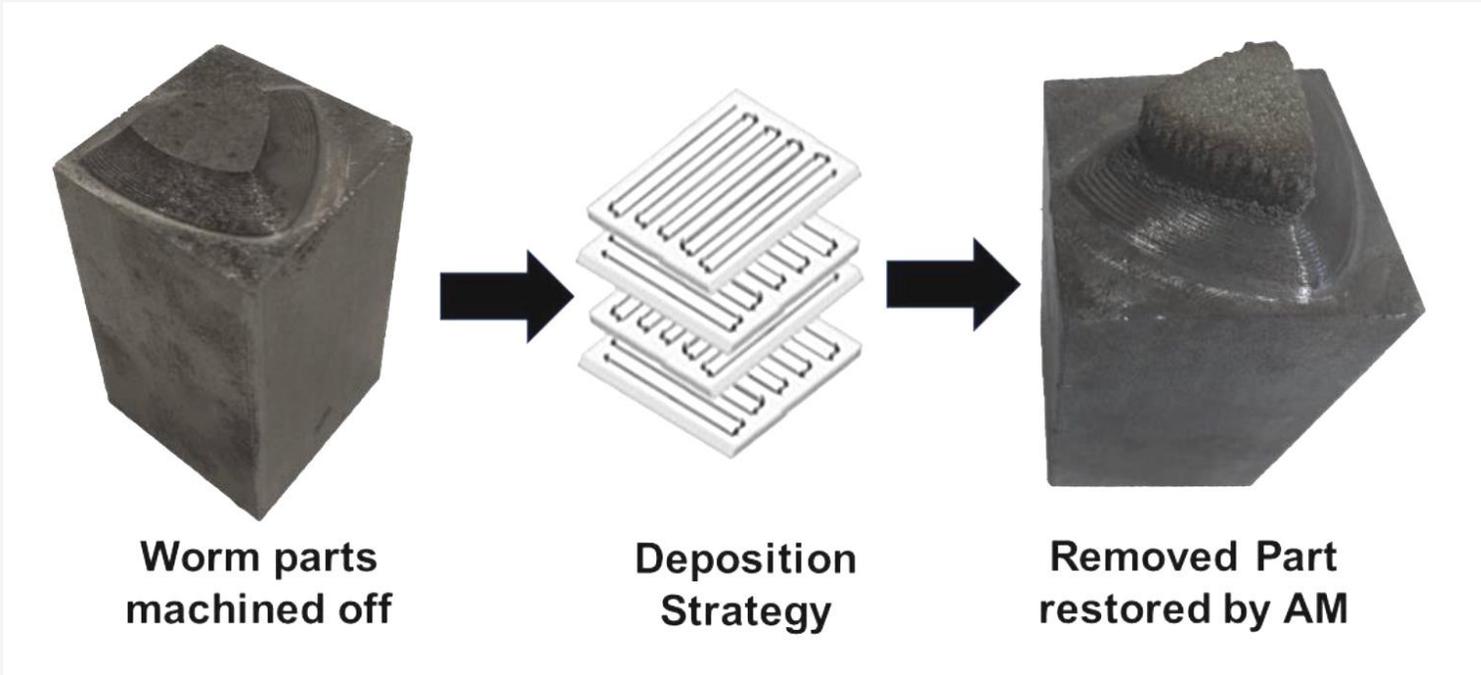


Hybrid: The Best of Both





Manufatura Híbrida

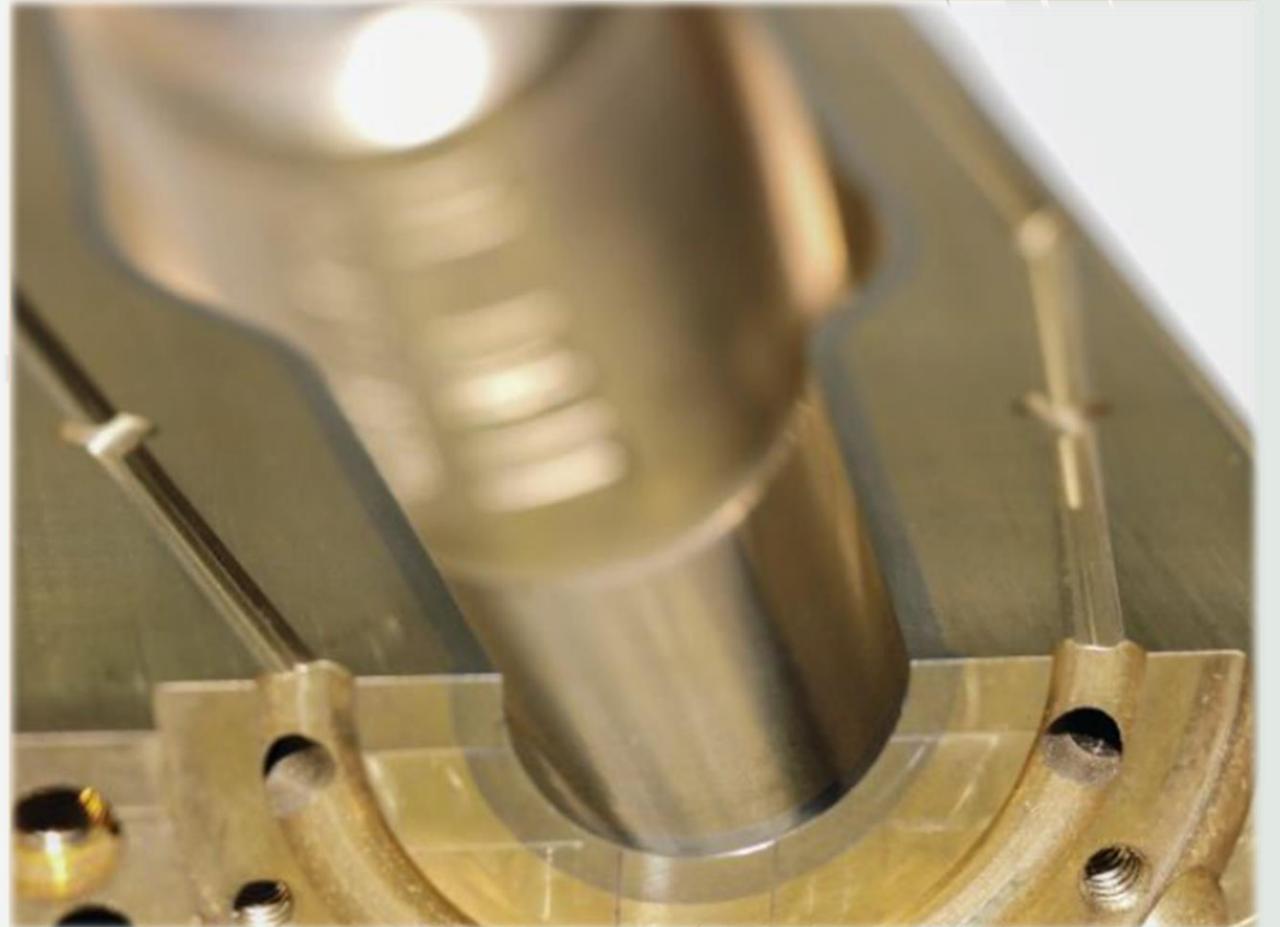
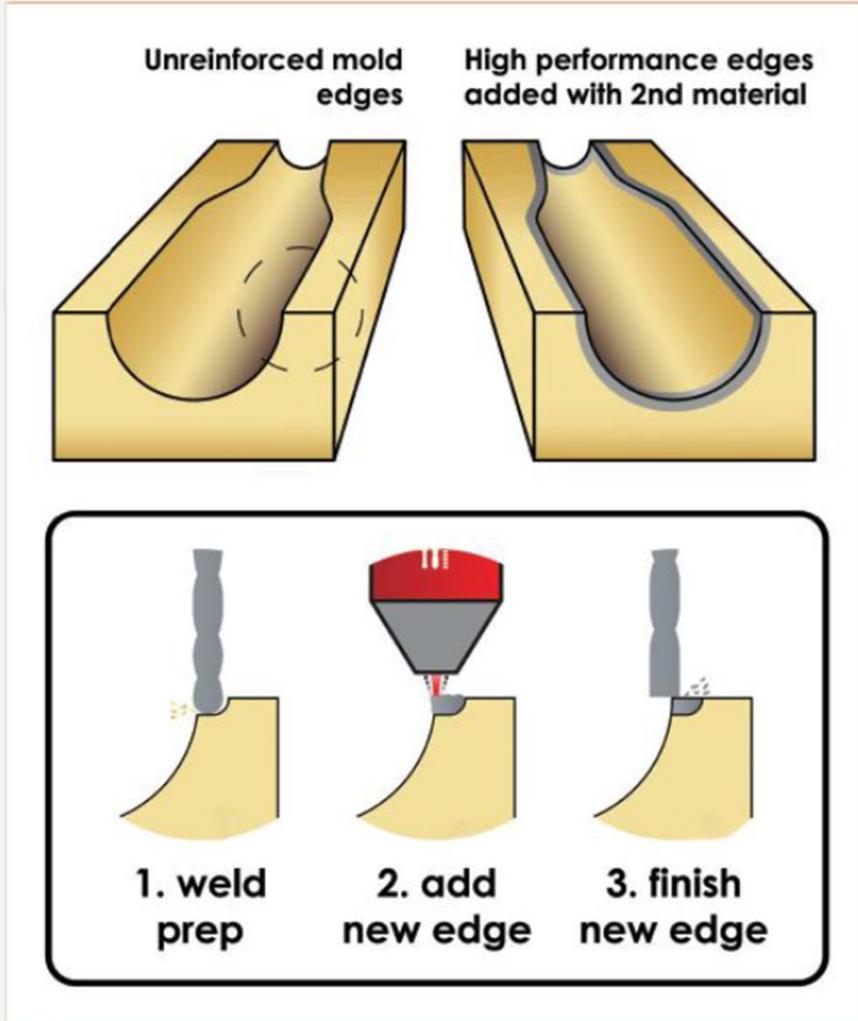




Fonte: OPTOMEC (2019)

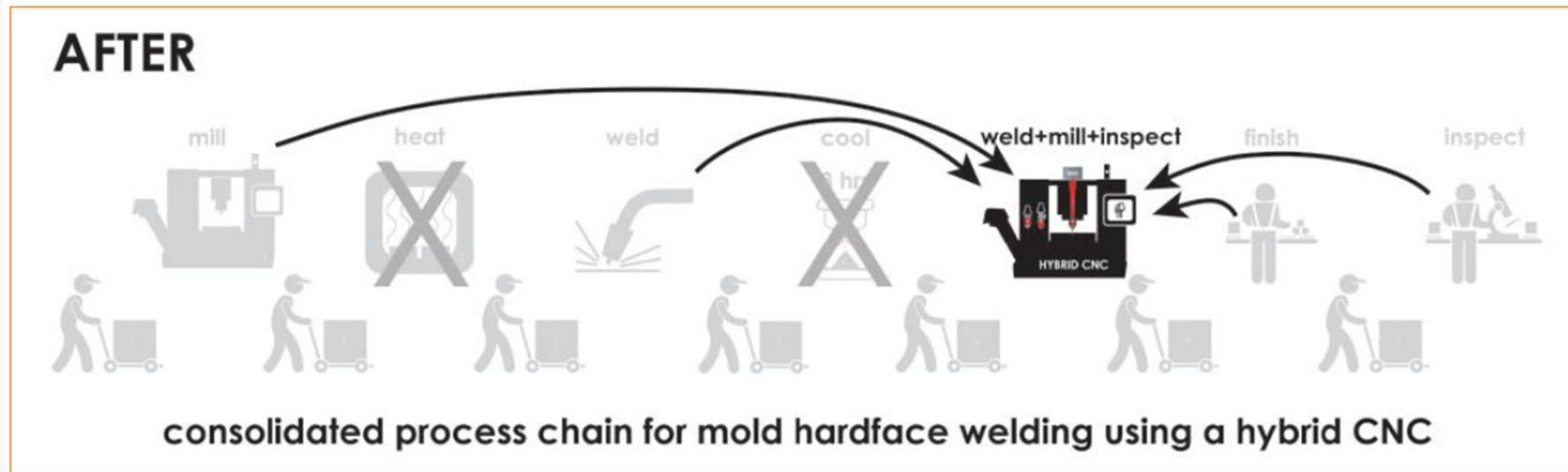
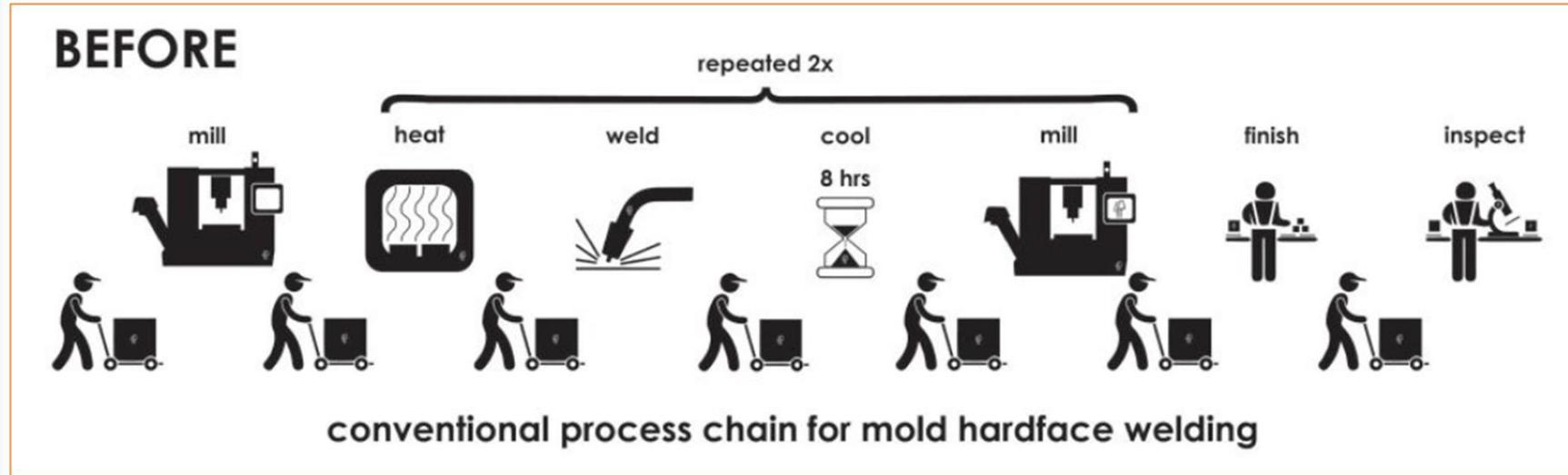


Manufatura Híbrida





Manufatura Híbrida



Máquinas do Laboratório





Nível de Adoção da MA



Fonte: Adaptado de Saunders (2018)



Barreiras da MA





Modelo de Negócios e Oportunidades

Mudança incremental: Quando a indústria **aumenta seus ganhos e posição no mercado** utilizando a MA



Mudança disruptiva: Quando a MA tem um **efeito radical na distribuição de valor econômico** na indústria





O futuro da MA

- ❑ **Aumento na Adoção por Diversas Indústrias:** A MA deve continuar crescendo e sendo adotada em diversas indústrias.
- ❑ **Materiais Avançados:** Pesquisas estão levando ao desenvolvimento de **novos materiais** projetados especificamente para impressão 3D.
- ❑ **Impressão 3D de Metais:** A impressão 3D com metais, deve se tornar mais **acessível e econômica**.
- ❑ **Bioprinting:** Técnicas de bioprinting mais sofisticadas e potencialmente a capacidade de imprimir **órgãos funcionais**.





O futuro da MA

- ❑ **Automação e Pós-processamento:** Remoção automatizada de peças, pós-processamento e controle de qualidade.
- ❑ **Escalabilidade e Produção:** Busca para otimizar a velocidade de impressão, reduzir de custos e garantir a qualidade.
- ❑ **Sustentabilidade:** Minimizar o impacto ambiental por meio do desenvolvimento de **materiais e processos ecologicamente corretos.**
- ❑ **Customização e Personalização:** Desenvolvimento bens de consumo e dispositivos médicos adaptados às preferências e necessidades individuais.





O futuro da MA

- ❑ **Desafios Regulatórios:** Os órgãos reguladores podem precisar se adaptar para garantir a segurança e a qualidade dos produtos impressos, especialmente em setores como saúde e aeroespacial.
- ❑ **Educação e Desenvolvimento da Força de Trabalho:** Necessidade de educação e treinamento em impressão 3D para **atender à demanda por profissionais qualificados.**
- ❑ **Transformação das Cadeias de Suprimentos Globais:** Transformação das cadeias de suprimentos, reduzindo a necessidade de transporte de longa distância e armazenamento de mercadorias.
- ❑ **Desenvolvimento Colaborativo e de Código Aberto:** Iniciativas de código aberto podem auxiliar no avanço da tecnologia, tornando-a mais acessível a uma gama mais ampla de inovadores e indústrias.





O futuro da MA

“Introduzir uma nova tecnologia, como MA, é difícil. É incrivelmente **desafiador e gratificante** ao mesmo tempo. Haverá cínicos ... Haverá pessoas que sabotarão quaisquer esforços da MA para restringir sua adoção. Em grande parte, isso é um sintoma de que a própria tecnologia **está sendo disruptiva**. Tecnologias disruptivas são percebida como perigosa e pode iliciar fortes sentimentos de medo.”

“No entanto, ao mesmo tempo, MA é empolgante e oferece um enorme potencial para projetar produtos além do que fazíamos no passado. “Por favor”, **não ceda às barreiras da mudança da MA. Seja um líder**. Seja corajoso e apaixonado pela adoção de novas tecnologias. Acima de tudo, você precisa lembrar que a mudança deve ocorrer para manter a lucratividade da sua empresa.”

(Dietrich; Kenworthy e Cudney, 2019)



Bibliografia

- ❑ ALMEIDA, Júlia Fornaziero de. Adoção de Manufatura Aditiva (MA) para Metais em Empresas: identificação de barreiras e proposta de roteiro para implementação. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ❑ DIETRICH, D. M.; KENWORTHY, M.; CUDNEY, E. A. Additive Manufacturing Change Management. Boca Raton : Taylor & Francis, 2019. | Series: Continuous: CRC Press, 2019.
- ❑ GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition. [s.l.] Springer New York, 2015.
- ❑ GUAN, Xiaoyi; ZHAO, Yaoyao Fiona. Modeling of the laser powder-based directed energy deposition process for additive manufacturing: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 107, n. 5, p. 1959-1982, 2020.
- ❑ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO/ASTM 52910 Manufatura Aditiva - Princípios Gerais - Terminologia, 2018.
- ❑ LIOU, F. et al. (jan.2001). "Research and Development of A Hybrid Rapid Manufacturing Process". In: Proceeding of the Twelfth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium, pp.138-145. DOI:10.26153/tsw/3246. URL: <https://hdl.handle.net/2152/76157>.



Bibliografia

- ❑ OTTON, J. M. et al. 3D printing from cardiovascular CT: A practical guide and review Cardiovascular Diagnosis and Therapy AME Publishing Company, , 1 out. 2017. Disponível em: </pmc/articles/PMC5716949/>. Acesso em: 17 fev. 2021
- ❑ SAUNDERS, M. Additive impact part #1 - how Additive Manufacturing could disrupt your market. Disponível em: <https://www.renishaw.com.br/pt/additive-impact-part-1-how-additive-manufacturing-could-disrupt-your-market--37549>. Acesso em: 26 maio. 2020.
- ❑ SAVOLAINEN, J.; COLLAN, M. How Additive Manufacturing Technology Changes Business Models? – Review of Literature. Additive Manufacturing, v. 32, p. 101070, mar. 2020.



Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo



Obrigada!

julia.f.almeida@usp.br

2023