



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMR 3301**

**Complementos de Fabricação Mecânica**

Profa. Izabel Machado



## Aula– Manufatura aditiva

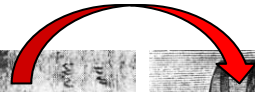
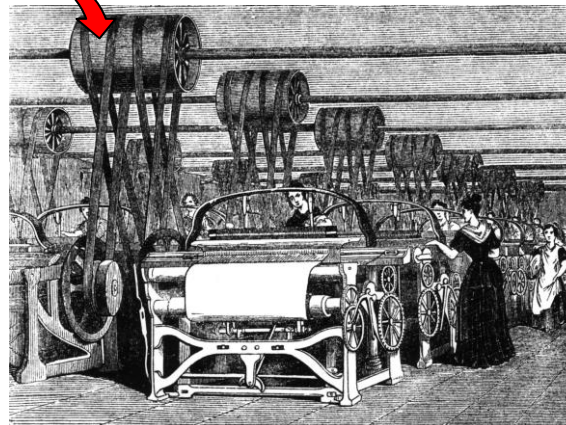
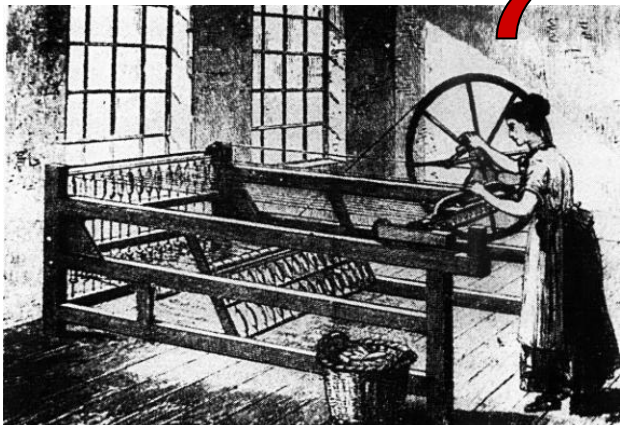
- ✓ Introdução;
- ✓ Manufatura aditiva;
- ✓ Principais usuários;
- ✓ Principais usuários e mercado;
- ✓ Ciclo de vida produtivo.



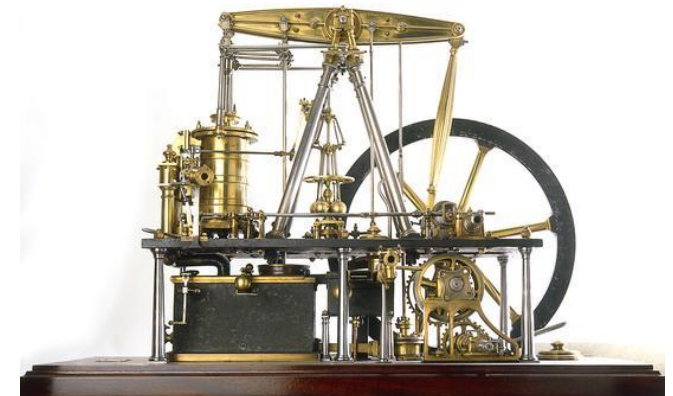
# Introdução

## Primeira revolução industrial

- A primeira revolução industrial iniciou-se na Inglaterra em fins do século XVIII, com a mecanização da indústria têxtil.
- Um dos seus marcos foi o desenvolvimento da máquina a vapor.



<http://users.manchester.edu/FacStaff/SSNaragon/Kant/LP/Readings/IndustrialRevolution.html>



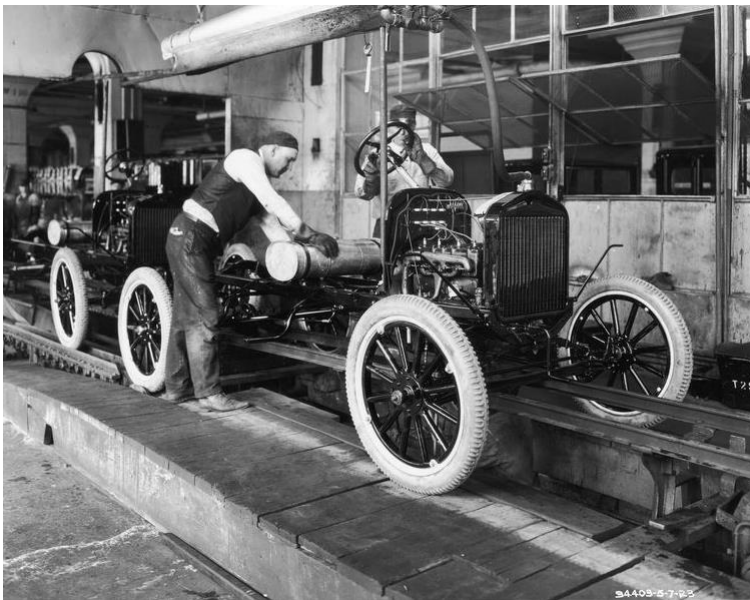
<https://www.pbslearningmedia.org/resource/84284180-industrial-revolution/replica-of-james-watts-steam-engine-18th-century-industrial-revolution/#.WTqhWty1tUQ>



# Introdução

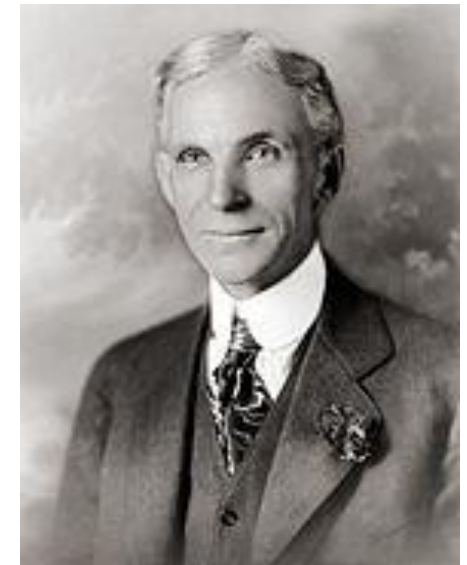
## Segunda revolução industrial

- A segunda revolução industrial iniciou-se nos Estados Unidos no início do século XX
- Um dos seus marcos foi o desenvolvimento da linha de produção.



“Any Customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black”

*Henry Ford's Remark on the Model T, 1909*



<https://www.thoughtco.com/henry-ford-and-the-assembly-line-1779201>

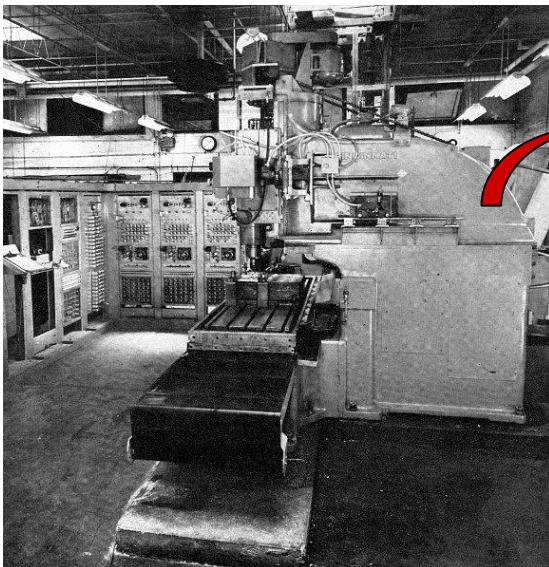




# Introdução

Terceira revolução industrial

- A segunda revolução industrial iniciou-se nos Estados Unidos na metade do século XX
- Um dos seus marcos foi o desenvolvimento comando numérico computadorizado.



John Parsons



# Introdução

## Quarta revolução industrial

- “**A quarta revolução industrial** não é definida por um conjunto de tecnologias emergentes em si mesmas, mas a transição em direção a novos sistemas que foram construídos sobre a infraestrutura da **revolução** digital”, esclarece Schwab, em seu livro **A Quarta Revolução Industrial**.
- A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, é um conceito desenvolvido pelo alemão Klaus Schwab, diretor e fundador do Fórum Econômico Mundial. Hoje, é uma realidade defendida por diversos teóricos da área. Segundo ele, a industrialização atingiu uma quarta fase, que novamente “transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos”. É, portanto, uma mudança de paradigma, não apenas mais uma etapa do desenvolvimento tecnológico.

<https://www.startse.com/noticia/nova-economia/industria-4-0-entenda-o-que-e-quarta-revolucao-industrial>



## Introdução

- Um dos seus marcos foi o desenvolvimento impressoras 3D e que certamente afeta essa nova etapa de desenvolvimento tecnológico.
- 1983 Charles ‘Chuck’ Hull inventou a Estereolitografia (SLA), esta foi a primeira tecnologia desenvolvida para criar objetos sólidos a partir de um modelo CAD.
- O Processo de SLA está baseado na cura e solidificação de camadas sucessivas de polímeros líquidos utilizando um feixe de luz ultra violeta. Este processo foi originalmente concebido como uma forma rápida e de baixo custo para a criação d protótipo dentro centros de desenvolvimento de produto na indústria.
- Daí a origem do termo *prototipagem rápida*





## Como a manufatura aditiva mudou os modelos de negócios

**Table 1**

Feasibility issues between additive and conventional manufacturing processes, summarized from [1,10,15,17,18,22,30,31,34–39].

Issue	Additive	Conventional
Market segment	High margin, niche segments with high customization and relatively low economic potential of product	Low margin, mass segments with low customization and high economies of scale
Demand and supply chain	Uncertain / unitary demand, which is best matched with engineering to order deliveries; high order fulfillment requirements; and/or high relative transportation costs versus product value	Stable / uncertain demand, when products can be made stock and shipped with negligible costs relative to product value
Intellectual Property Rights (IPR) status	Expired / un-patented / un-branded products with low standardization requirements	Highly branded products (= mass market) with established standards and patents
Production process	Low level of automation with a high number of distinct production phases that AM can integrate	High level of automation and a limited number of process phases
Product characteristics	Small products with highly complex structures; flexible product quality requirements in terms of finishing, strength, etc.	Products of any size with maximum quality required
Raw material type	Expensive, primarily synthetic powders that in solid form have low machinability and/or high material removal rate	Low to high cost, organic or synthetic materials that have good machinability and naturally occur in solid form to be used in subtractive processes

How Additive Manufacturing Technology Changes Business Models? – Review of Literature , [Additive Manufacturing 32 \(2020\) 101070](#)

Jyrki Savolainen, Mikael Collan





## Como a manufatura aditiva mudou os modelos de negócios

J. Savolainen and M. Collan

Additive Manufacturing 32 (2020) 101070

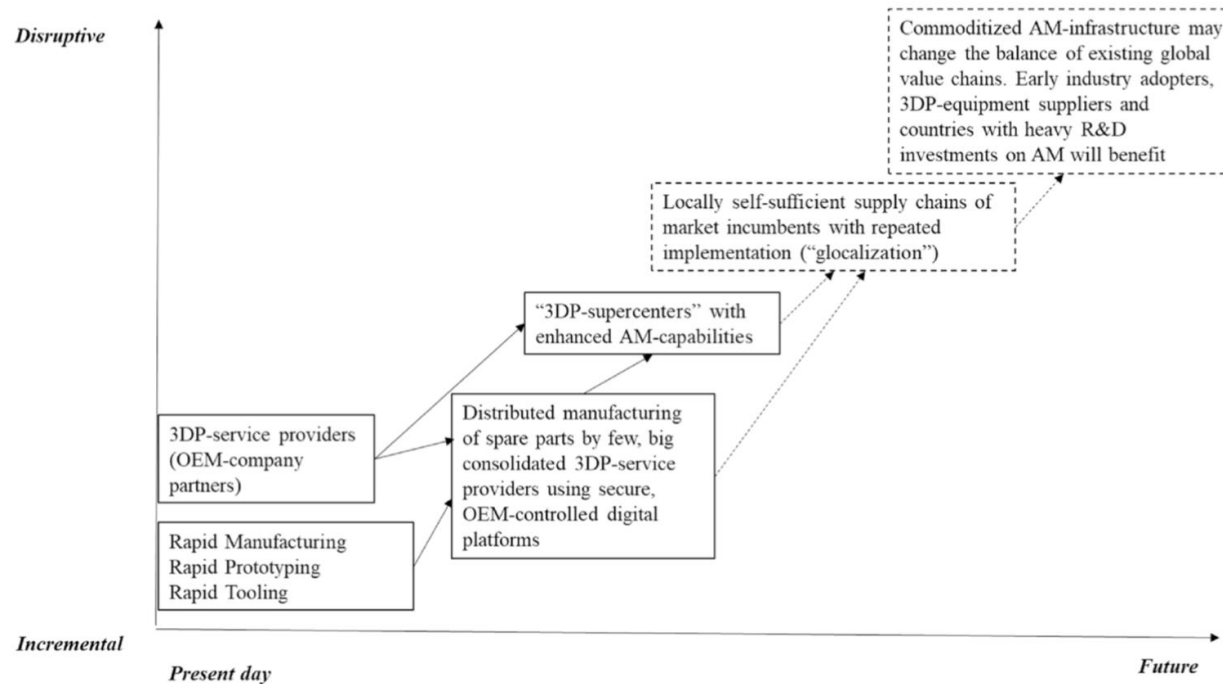


Fig. 3. Main directions within the closed BM-paradigm, where dashed lines represent the less probable direction of development in the near future.

How Additive Manufacturing Technology Changes Business Models? – Review of Literature , [Additive Manufacturing 32 \(2020\) 101070](#)

Jyrki Savolainen, Mikael Collan



## Como a manufatura aditiva mudou os modelos de negócios

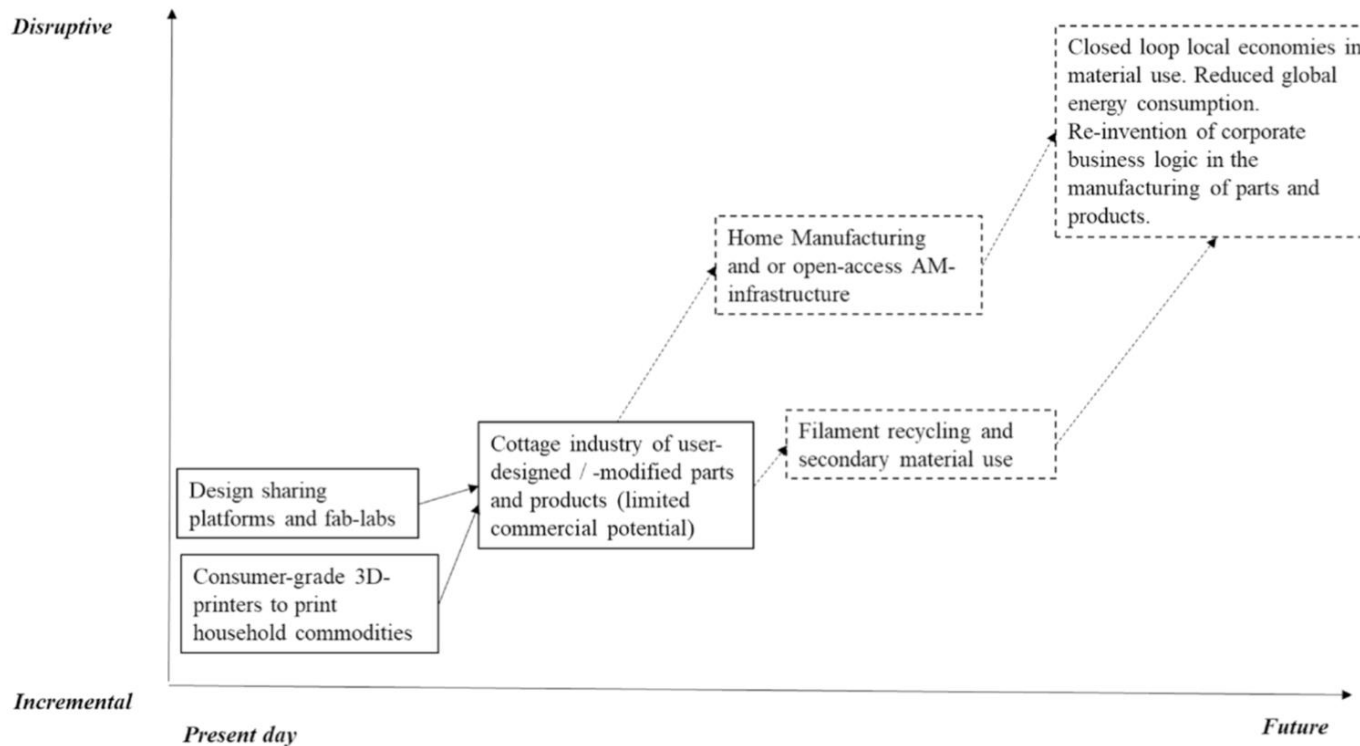


Fig. 4. Main directions within the open BM-paradigm. Dashed line indicates the improbable phases in the development.

How Additive Manufacturing Technology Changes Business Models? – Review of Literature , [Additive Manufacturing 32 \(2020\) 101070](#)

Jyrki Savolainen, Mikael Collan



Fig. 4. Metal bridge part manufactured with the MX3D printer [103].

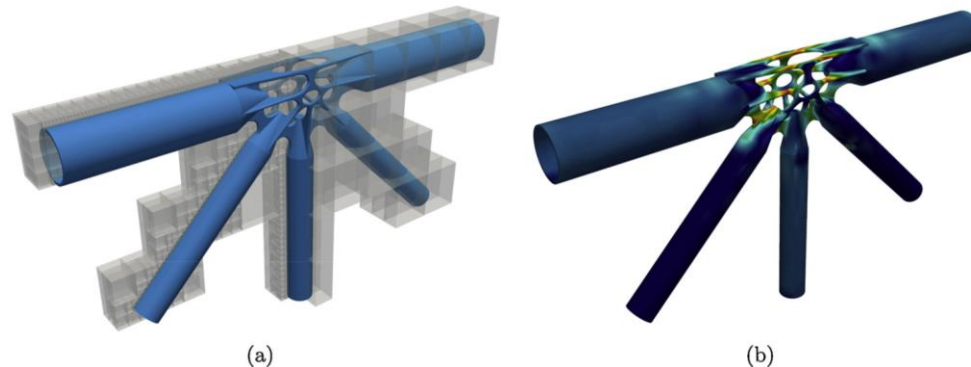


Fig. 6. FCM model of a steel joint: (a) non-boundary-conforming mesh, (b) computed von Mises stresses. The geometric model was supplied by the Institute of Structural Design at TU Braunschweig.

## Review

Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods Alexander Paolinia, □, Stefan Kollmannsbergera, Ernst Rank, Additive Manufacturing 30 (2019) 100894



# Introdução

O que é manufatura aditiva

- Processo de manufatura não convencional por adição de material partindo de um modelo computacional tridimensional;
- São processos de fabricação que se opõem as tecnologias convencionais de manufatura;
- Usualmente a manufatura aditiva é feita pela sobreposição de camadas de material.





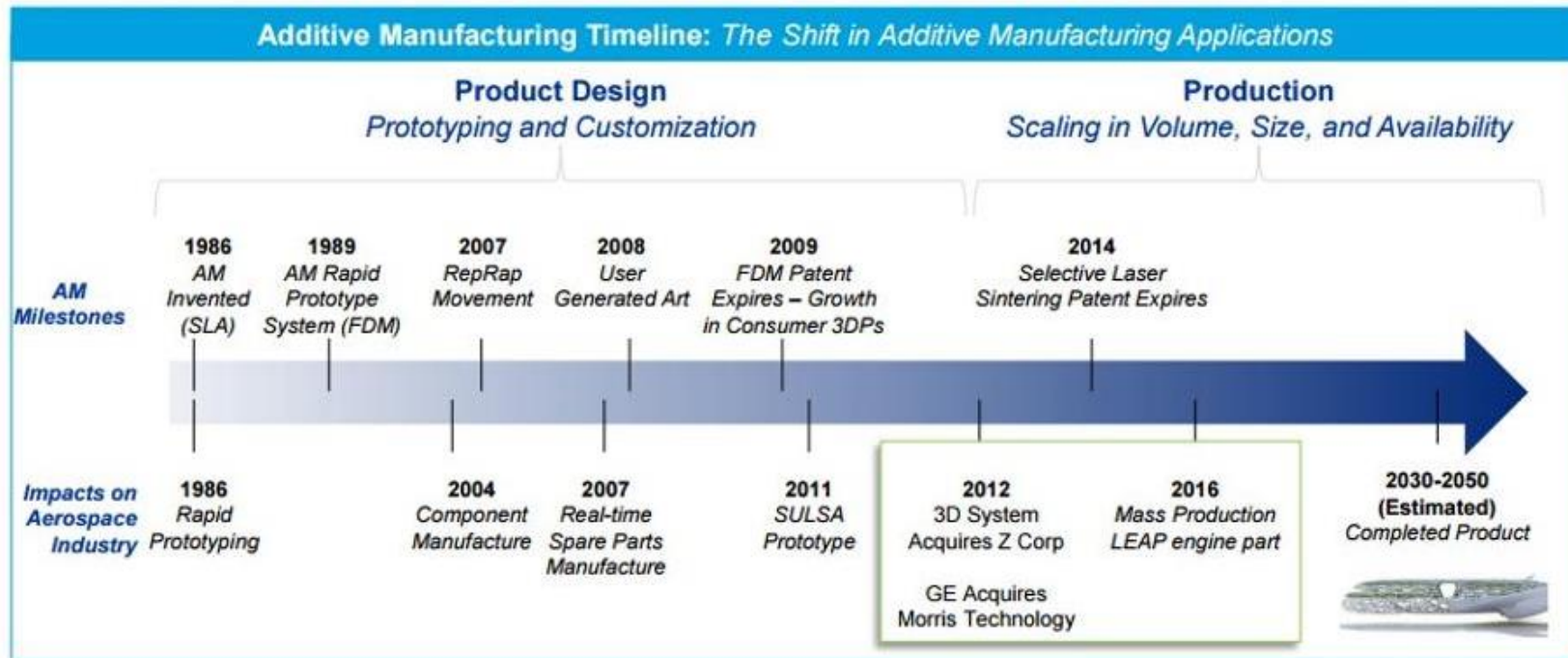
# Divisão dos processos de fabricação

Processos de Fabricação					
1	2	3	4	5	6
Formas primárias	Formas conformadas (secundárias)	Usinagem	Uniões	revestimentos	alterações de propriedades dos materiais

Processos de Fabricação						
1	2	3	4	5	6	7
Formas primárias	Formas conformadas (secundárias)	Usinagem	Uniões	revestimentos	alterações de propriedades dos materiais	Manufatura aditiva



# Manufatura aditiva - Evolução



### Main Applications 1986 - 2011:

- Product Design
- Product Part Production
- Rapid Prototyping
- Concept Modeling

### Catalyst for Mass Production Adoption<sup>1</sup>:

- GE plans to mass-produce 25,000 LEAP engine nozzles with AM – already have \$22B in commitments
- Parts will drive production and operational cost savings
- First test to see if AM can revolutionize production

### Main Applications 2014 - Future:

- End Product Production
- Mass Production
- Democratized Consumer 3D Printing



*Table 2: Most successful industrial RP systems*

Process	Vendor sales in 1997
<b>Stereo-Lithography (SL)</b> 281 units (26%)	3D Systems: 165 units (16%)
	Japanese vendors: 97units (9%)
	EOS-Stereos: 22 units (2%)
<b>Fused Dep. Mod. (FDM) (25%)</b>	Stratasys: 260 units (25%)
<b>Ink Jet Printing (IJP)</b> 265 units (26%)	Sanders: 152 units (14%)
	3D Systems: 113 units (11%)
<b>Laminated Object Mfg. (LOM)</b> 98 units (9%) [162 units (15%)]	Helysis: 76 units (7%)
	Kira: 20 units (2%)
	Kinergy: >2 units
	{Schroff: 64 units (4%)}
<b>Selective Laser Sintering (SLS)</b> 75 units (7%)	DTM: 42 units (4%)
	EOSint: 33 units (3%)

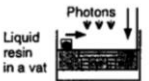


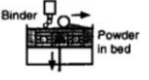
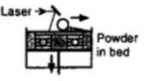

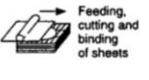
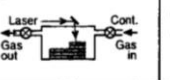
**Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping** J.-P. Kruth (I), Katholieke Universiteit Leuven, Division PMA, Belgium M.C.Leu\* (2), New Jersey Institute of Technology, Mech.Eng.Dept., USAT. Nakagawa (I), University of Tokyo, Inst. of Industrial Science, Japan\* On leave as Program Director for Manufacturing Machines and Equipment at NSF, USA

*Annals of the CIRP* Vol. **47/2/799**





Table 3: List of industrial additive manufacturing processes

Supply	Process	Lay-out	Layer creation technique	Phase Change during layer solidification	Materials	Variants /Laser based	Systems
LIQUID	Stereo-Lithography (SL)	Liquid resin in a vat 	Liquid layer deposition	Photo-polymerization	Photo-polymers: - acrylates - epoxies - filled resins (glass, ceramic, metal,...) - colorable resins	Laser illumination	3D System - SLA (US) NTT Data CMET-SOUP (J) D-MEC/Sony - SCS (J) [EOS - Stereos (D)] <sup>2</sup> MEIKO-Colamm (J) Teijin Selki (Dupont)-Soliform (J) Aeroflex (Dupont) - Solid Imager Denken - SLP (J) (US) Fockele & Schwarze (D) Ushio - Unirapid (J)
	Fused Deposition Modeling (FDM)		Continuous extrusion and deposition	Solidification by cooling	Polymers: (ABS, PA,...) Wax Filled polymers (glass,...)	FDM	Stratasys - FDM (US) Stratasys - Genisys (US)
					Metals with binder	MJS	Development [IFAM (D)]
					Ceramics with binder	FDC	Development [Austin, Rutgers]
Ink Jet Printing (IJP)		Drop-on-demand deposition	Solidification by cooling	Polymers Wax		3D System - Actua (US) Sanders - ModelMaker (US) Development [Stanford]	
POWDER	Three Dimensional Printing (3D-P)		Layer of powder + Drop-on-demand binder printing	No phase change	Ceramics with binder Metals with binder Polymer with binder		Soligen-DSPC (US) Extruhone-3DP (US) Z-corp.-3DP (US)
	Selective Laser Sintering (SLS)		Layer of powder	Laser sintering / Laser melting & resolidification by cooling	Polymers (PC, PA,...) Filled polymers (glass,...) Metals with binder Metals (pure) Sand, ceramics	Laser-based	DTM - Sinterstation (US) EOS - EOSint (D)
	Laser Cladding		Continuous injection of powder	Laser melting & solidification by cooling	Metals	Laser + milling layer and contour Laser-based	Röders - CMB (D) Development: - LENS [Sandia] - LAPS-J [IPK (D)]
SOLID	Laminated Object Manufactur. (LOM)		Deposition of sheet material	No phase change	Paper	Laser cutting	Helisys-LOM (US) Kinergy-ZIPPY (Sing.)
						Knife cutting	Kira - SAHP (J)
					Polymer	Knife cutting	[SPARX-(Sweden)] <sup>2</sup>
					Polymer foam	Heated wire cutting	Development [Utah]
					Composites	Laser cutting	Helisys-LOM (US)
					Ceramics	Laser cutting	Development [Dayton]
	Metals	Laser cutting	Semi-industrial [U. Tokyo, U. Erlangen (D), CRIF(B)]				
GAZES	Selective Laser Chem. Vapour Deposition		Condensation of gas	Forming solid from gas by chemical reaction	Metals (Al, FeNi,...) Ceramics (SiC,...)	Laser-based	Development: - LCDV [M. Planck-(D)] - SALD [Connect., Texas, Renssel.]

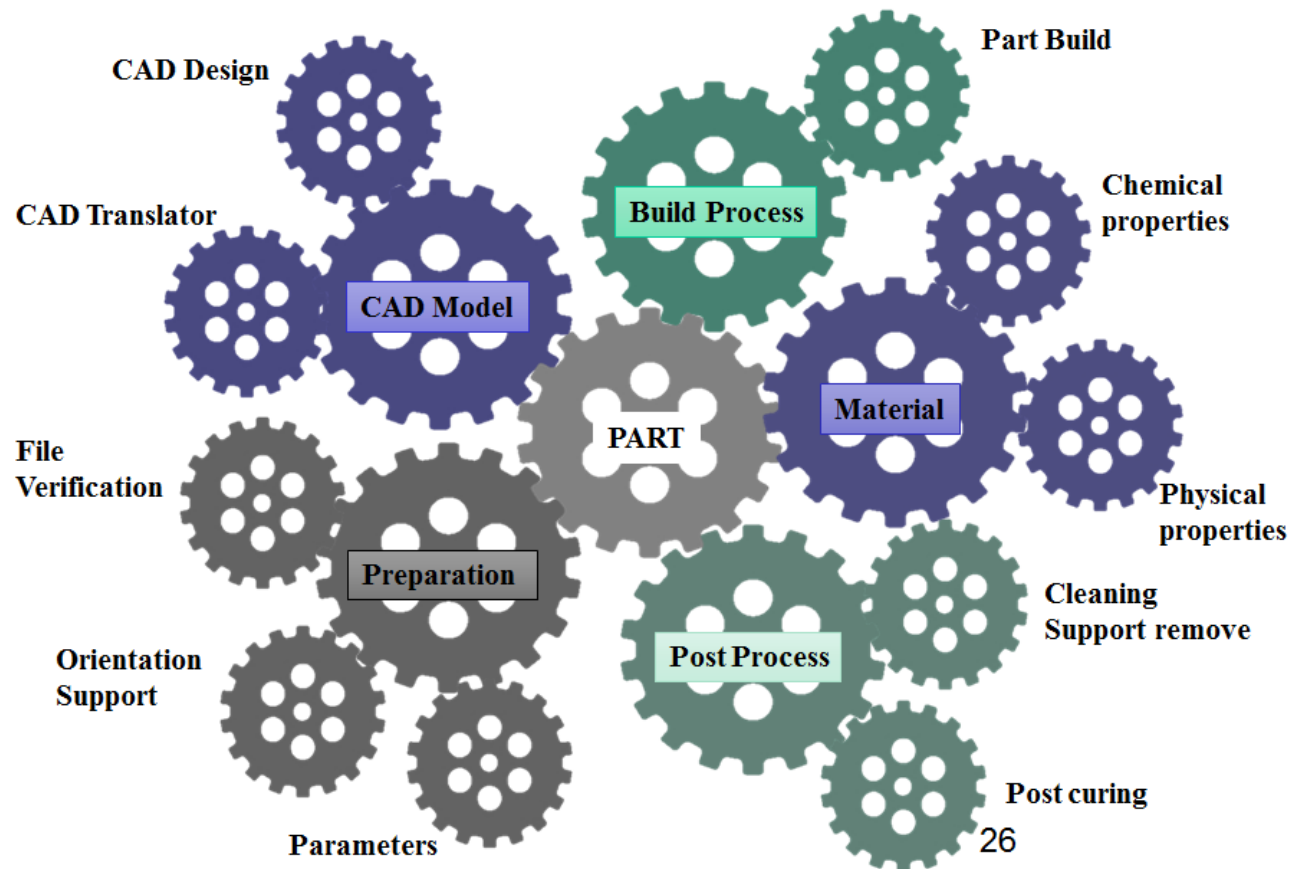
<sup>2</sup>Activity ceased recently





# Manufatura aditiva

## Interrelações de conhecimento



EN-MME/ Th. Sahner



# Manufatura aditiva

## Manufatura aditiva

### Base líquida

- Sterolitografia
- jetting Systems
- Direct Light Processing

### Base pó

- Selective Laser Sintering
- Three-Dimensional Printing
- Fused Metal Deposit Systems
- Electron Beam Melting
- Selective Laser Melting
- Selective Masking Sintering
- Selective Inhibition Sintering
- Electro photographic Layered Manufacturing
- High Speed Sintering

### Base sólida

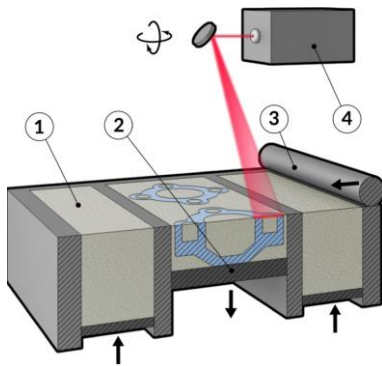
- Fused Deposition Modelling
- Sheet Stacking Technologies



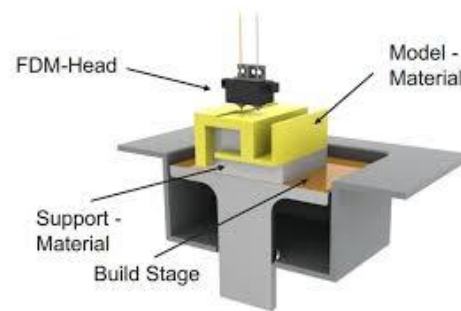
# Manufatura aditiva

## Manufatura aditiva

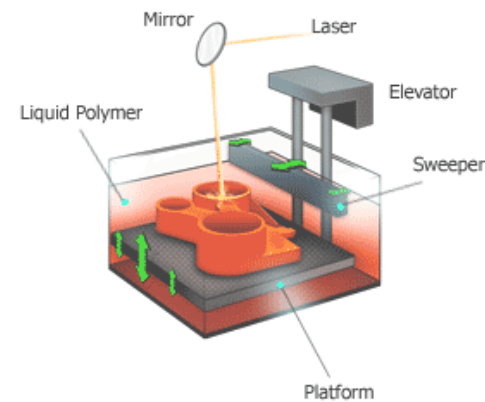
**SLS**  
**(Selective Laser Sintering)**



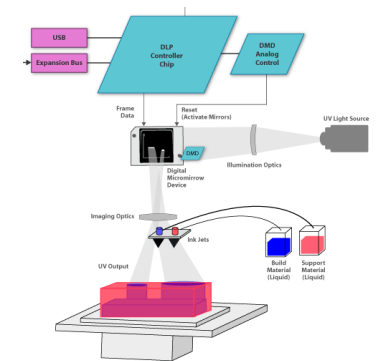
**FDM**  
**(Fused Deposition Modelling)**



**SLA**  
**(Stereolithography)**



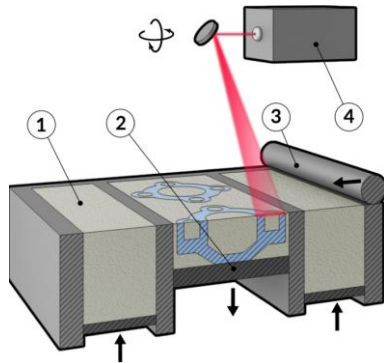
**DLP**  
**(Digital Light Processing)**





# Manufatura aditiva

## SLS (Selective Laser Sintering)



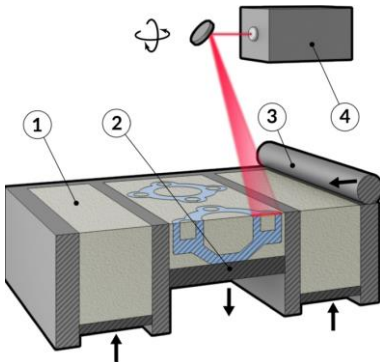
- *Selective Laser Sintering (SLS)* e *Selective laser melting (SLM)*, são termos utilizados para processos de impressão 3D baseado em Laser e materiais em pó
- Na SLS/SLM camadas de pós compactados são depositados em uma cuba, que é varrida por feixes de Laser, promovendo a SINTERIZAÇÃO ou FUSÃO das partículas de material, gerando o sólido.
- O material de cada camada é ligado (fundido ou sinterizado) a camada anterior.
- A câmara é completamente selada, e pode ser feita em ambiente com atmosfera controlada. Problema de reatividades dos pós
- Há necessidade de manter a temperatura com precisão, devido aos pontos de fusão do material.
- Cada material tem um ponto de fusão específico, o que torna o estabelecimentos dos parâmetros de operação mais complexos
- O pó não utilizado deve ser removido
- O próprio pó não utilizado serve de estrutura de suporte, o que elimina a necessidade de remoção posterior destas estruturas
- Geometrias complexas que não podem ser executadas por outros processos podem facilmente serem feitas por SLS/SLM





# Manufatura aditiva

## SLS (Selective Laser Sintering)



- As desvantagens da *Selective Laser Sintering (SLS)* e *Selective laser melting (SLM)*, estão na alta temperatura do processo e a necessidade de esperar o resfriamento
- Na porosidade resultante
- As vezes é necessário a infiltração com outros materiais para garantir continuidade do meio e aumento da resistência do componente.
- Devido as altas temperaturas a potência do laser é bem maior do que as de processamento de polímeros
- As exatidões e acabamento superficial não são tão bons quanto a SLA e DLP

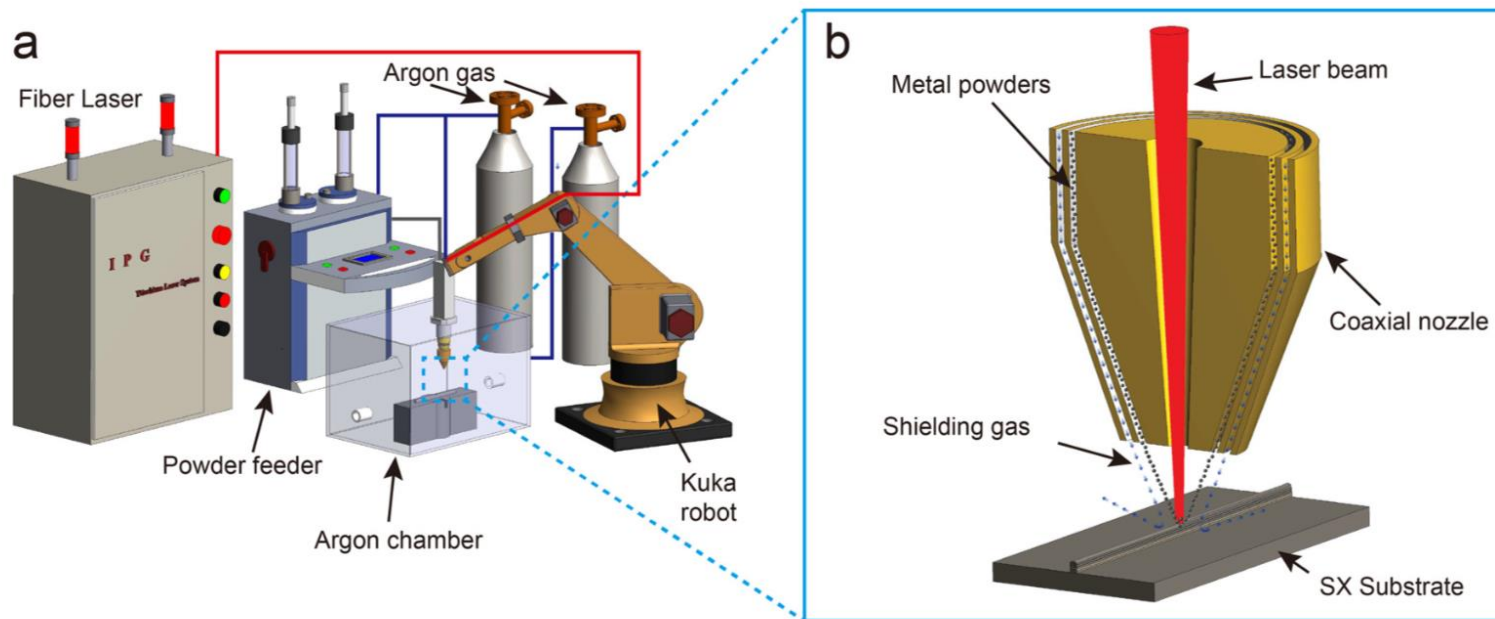


Fig. 1. (a) Directed energy deposition (DED) setup; (b) DED schematic diagram.

Hot cracking behavior and mechanism of a third-generation Ni-based single- $\tau$  crystal superalloy during directed energy deposition  
Nannan Lu<sup>a,1</sup>, Zhenglong Lei<sup>a,\*</sup>, Kuan Hua<sup>a</sup>, Xingfu Yu<sup>b</sup>, Peng Li<sup>a</sup>, Jiang Bi<sup>a</sup>, Shibo Wu<sup>a</sup>, Yanbin Chen<sup>a</sup> Additive Manufacturing 34 (2020) 101228

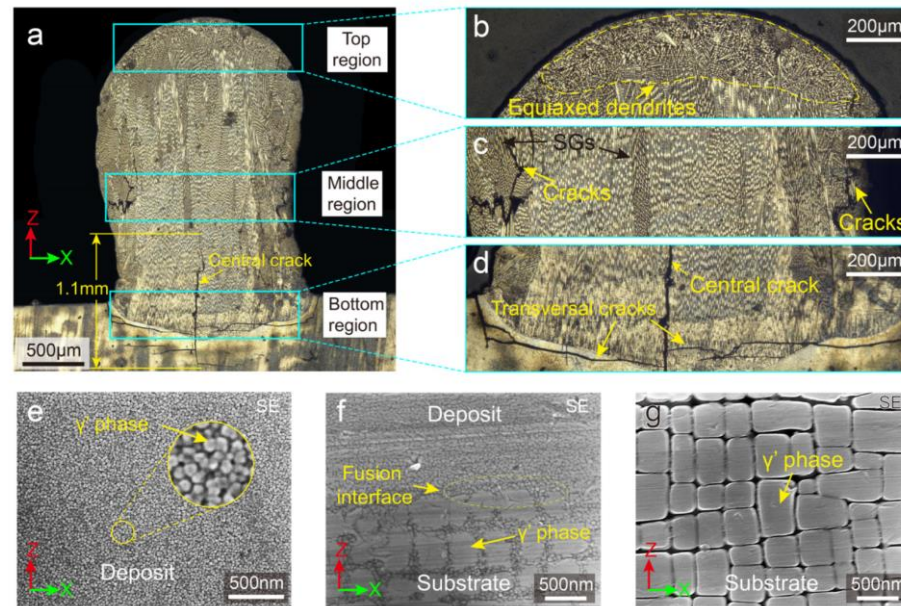


Fig. 4. OM images showing the microstructures of CMSX-10 on Ni-based SX superalloys (a); local enlargement microstructures of the top region (b), the middle region (c), and the bottom region (d) in the deposited specimen; the SE image of  $\gamma'$  precipitates in the deposit (e), near the fusion interface (f), and in the substrate (g).

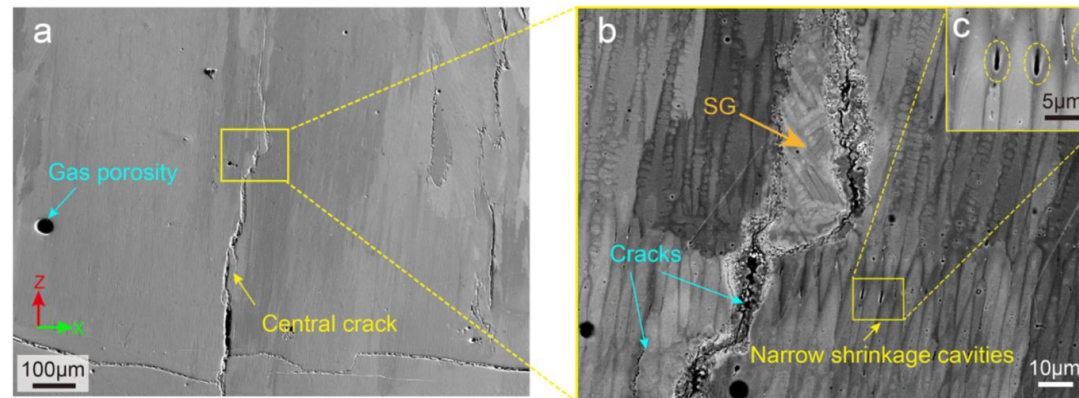
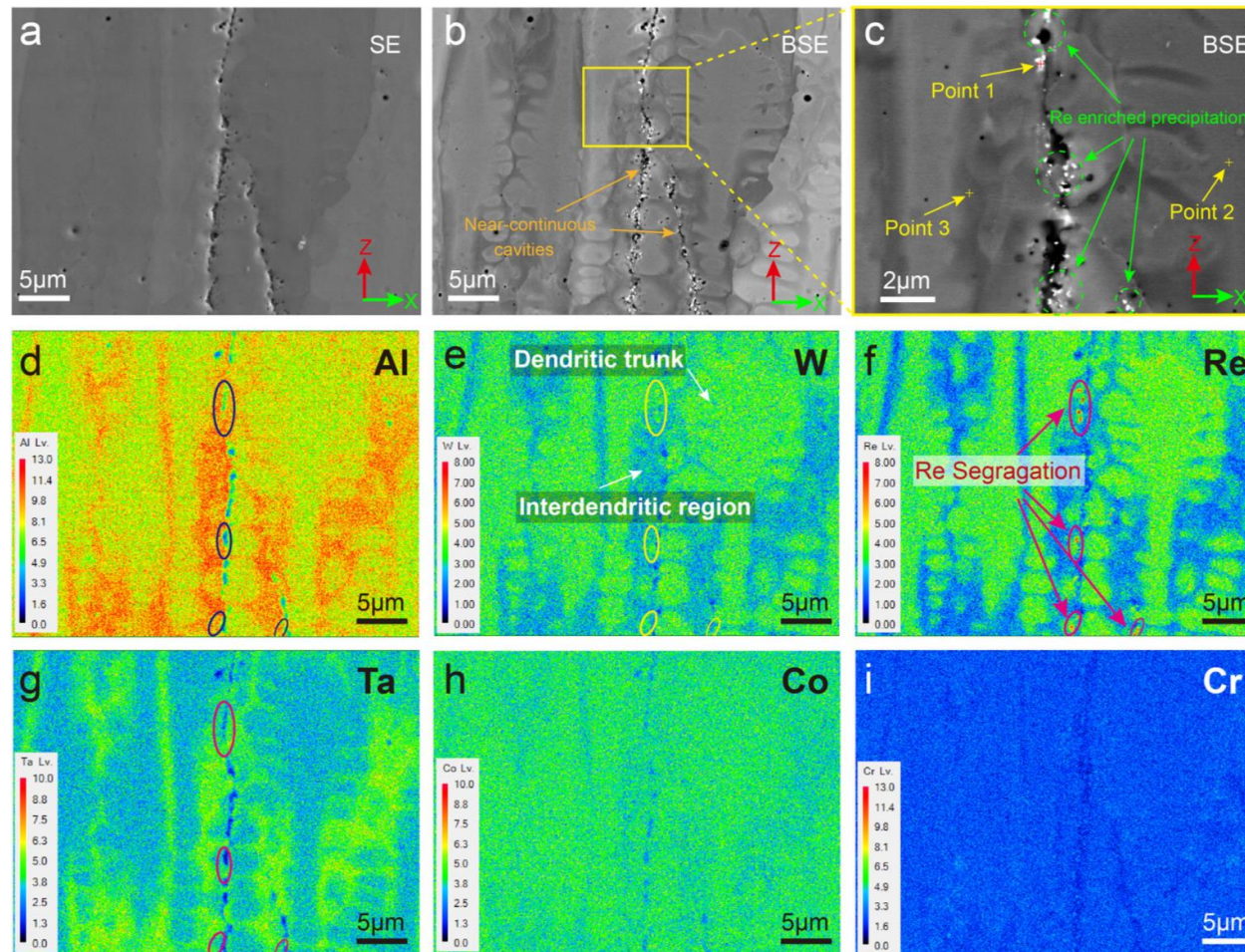


Fig. 6. Distribution of defects: (a) SE image of gas pores and cracks, (b) BSE images of strain grain (SG) and shrinkage cavities, (c) enlargement of shrinkage cavities.

Hot cracking behavior and mechanism of a third-generation Ni-based single- $\tau$  crystal superalloy during directed energy deposition

Nannan Lu<sup>a,1</sup>, Zhenglong Lei<sup>a,\*</sup>, Kuan Hua<sup>a</sup>, Xingfu Yu<sup>b</sup>, Peng Li<sup>a</sup>, Jiang Bi<sup>a</sup>, Shibo Wu<sup>a</sup>, Yanbin Chen<sup>a</sup> Additive Manufacturing 34 (2020) 101228





**Fig. 8.** EPMA elemental distributions of the region near the central crack. (a) SE image of the crack initiation; (b) BSE images of the crack initiation; (c) enlargement of the selected region in b; Elemental distribution maps of: (d) Al; (e) W; (f) Re; (g) Ta; (h) Co; (i) Cr.

Hot cracking behavior and mechanism of a third-generation Ni-based single- $\tau$  crystal superalloy during directed energy deposition

Nannan Lu<sup>a,1</sup>, Zhenglong Lei<sup>a,\*</sup>, Kuan Hua<sup>a</sup>, Xingfu Yu<sup>b</sup>, Peng Li<sup>a</sup>, Jiang Bi<sup>a</sup>, Shibo Wu<sup>a</sup>, Yanbin Chen<sup>a</sup> Additive Manufacturing 34 (2020) 101228





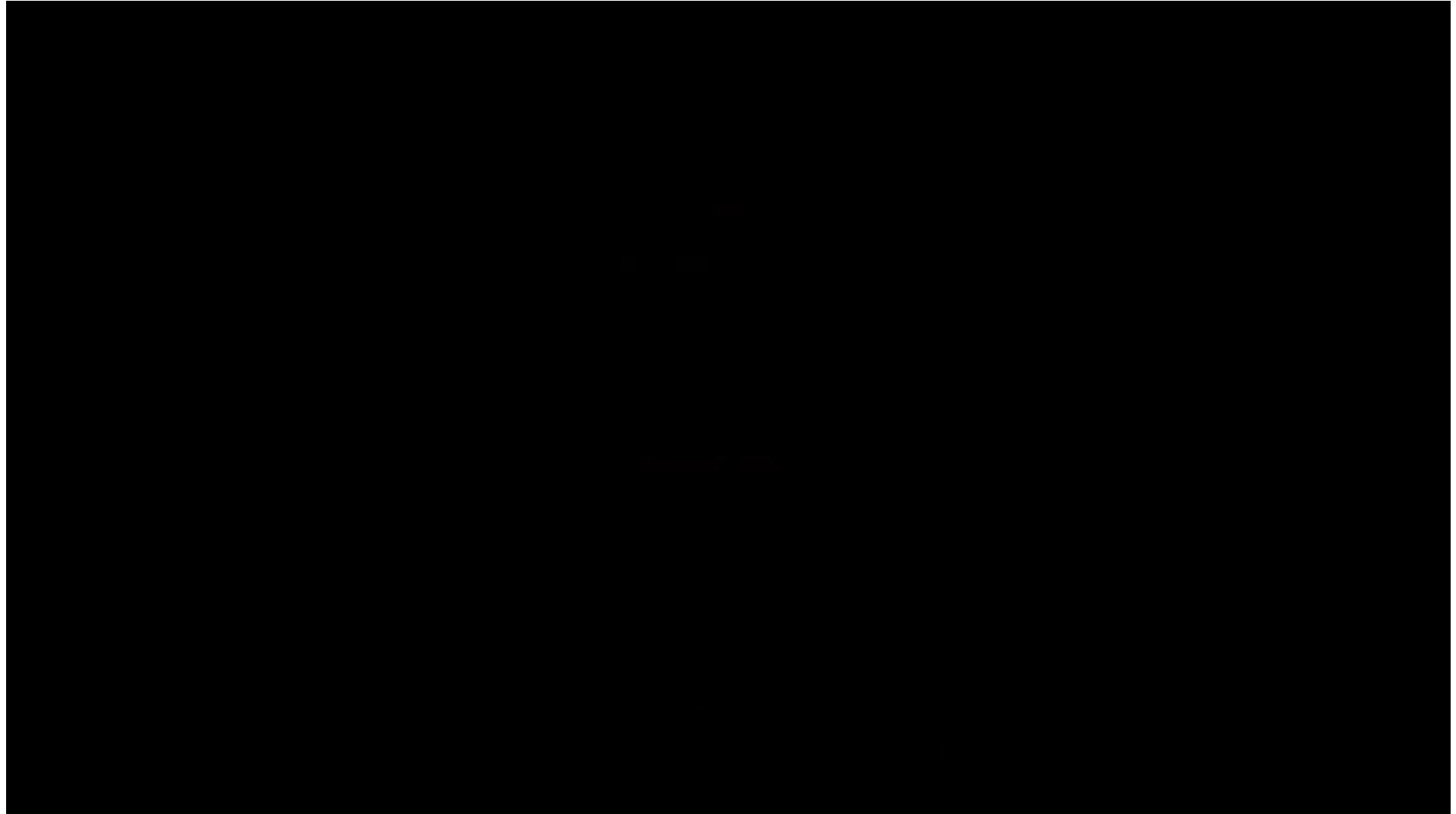
# Manufatura aditiva

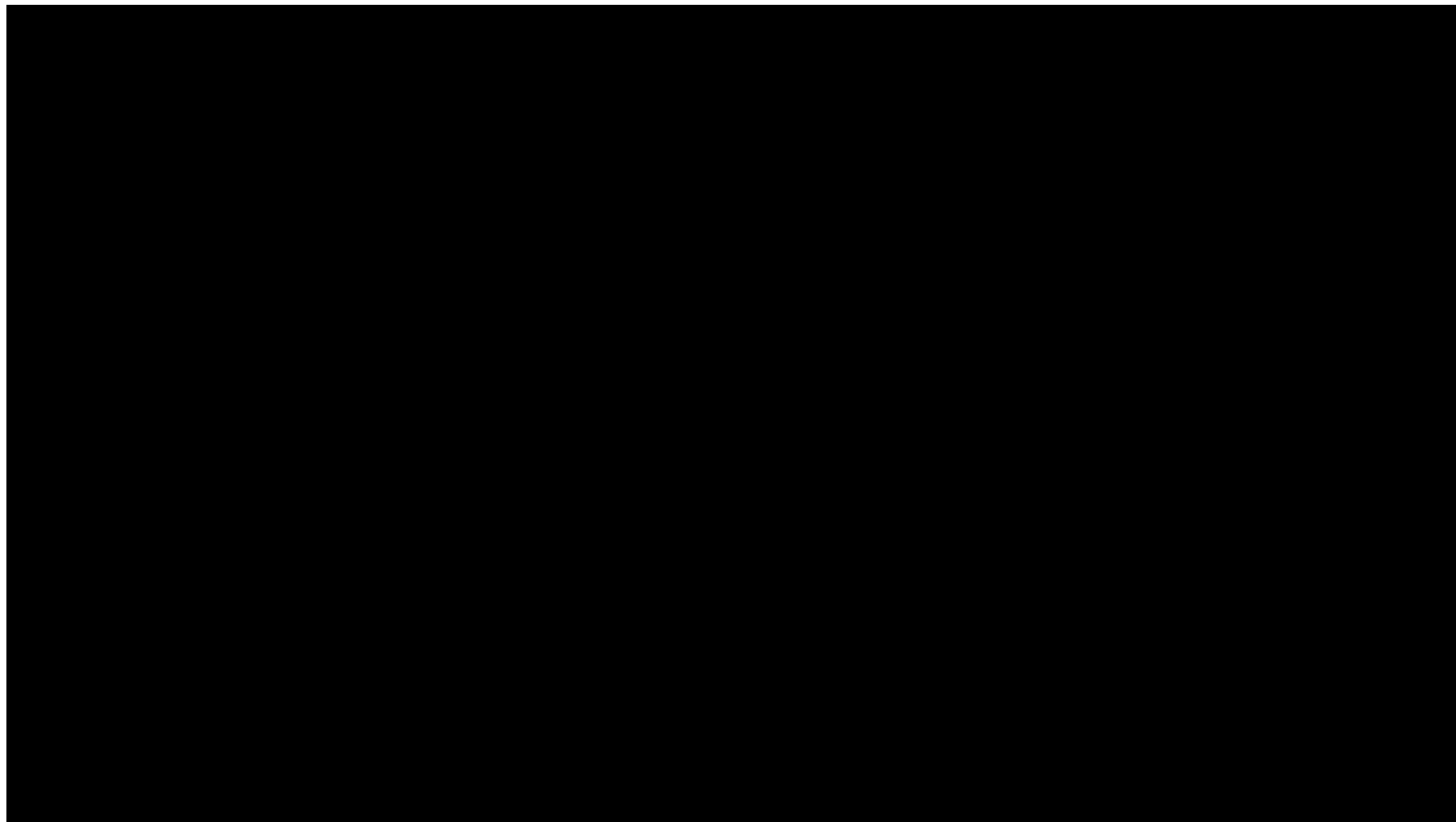
**SLS**  
**(Selective Laser Sintering)**

**SLM**  
**(Selective Laser Melting)**

**Video**

**Video**







# ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

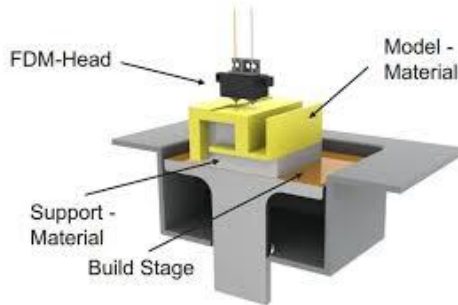






# Manufatura aditiva

## FDM (Fused Deposition Modelling)



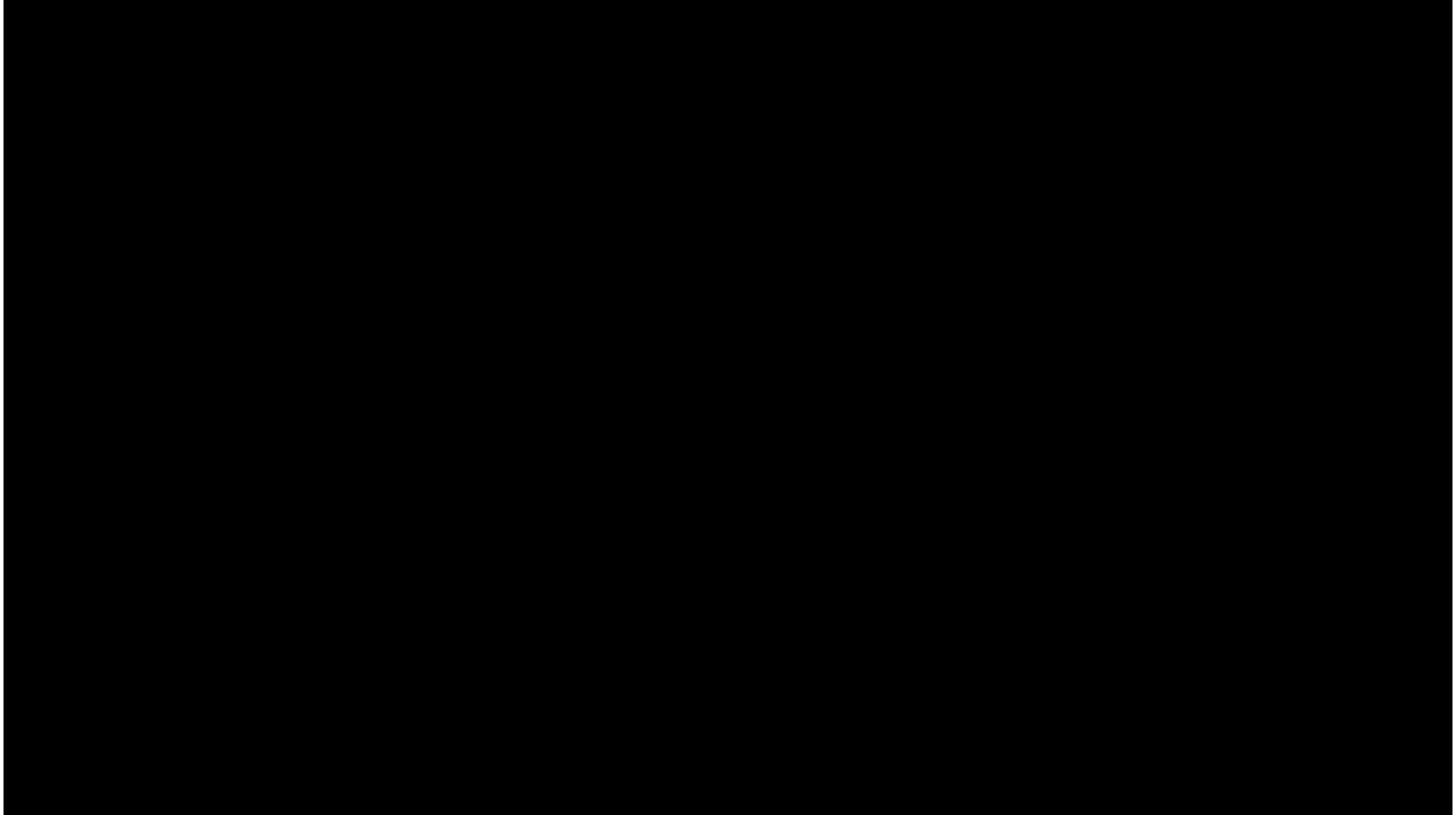
- *Fused Deposition Modelling FDM e Freeform Fabrication FFF*
- Processos baseados na extrusão de termoplásticos
- É o processo mais comum, mais popular e mais facilmente reconhecido de impressão 3D
- Pode ser industrial ou de uso caseiro
- O processo se caracteriza pela fusão de um filamento de termoplástico que é depositado, por meio de uma extrusor aquecido, em camadas sucessivas
- Cada camada endurece após depositada e se gruda na camada anterior
- A maior parte dos materiais disponíveis para FDM permite a aplicação industrial
- Processo necessita de estruturas de suporte quando á estruturas em balanço no componente, isso analisado de forma automática pelo software de impressão, o que leva a necessidade de limpeza e remoção
- Materiais de natureza diferentes podem ser processados simultaneamente (duas cabeças de impressão)
- Processo mais amigável
- processo lento
- pode apresentar problemas de adesão entre as camadas, o que causa delaminação
- peças podem não ser estanques, pós processo com acetona pode resolver o problema



# Manufatura aditiva

**FDM**  
**(Fused Deposition**  
**Modeling)**

**Video**





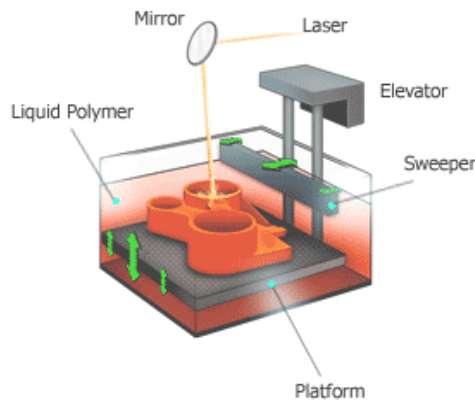
**Your 3D Printing Solution**  
Send us your .STL file, We will advise you accordingly!





# Manufatura aditiva

## SLA (Stereolithography)



- A SLA é reconhecidamente o primeiro processo de impressão 3D
- SLA foi com certeza o primeiro a ser comercializado
- É um processo baseado em Laser com resina polimérica
- O Laser realiza a cura da resina para formar o corpo sólido
- É capaz de produzir peças com elevada exatidão, é considerada como sendo o processo mais preciso de manufatura aditiva.
- É capaz de produzir peças com excelente acabamento superficial
- É um processo relativamente complexo, mas simples na sua execução
- O feixe de Laser é direcionado contra a superfície da resina de acordo com as informações fornecidas pelo programa à máquina (arquivo \*.stl)
- Assim que uma camada é concluída a estrutura submerge no tanque de um incremento predefinido, e uma nova camada é processada, e o processo se repete até a peça ser completada.
- Devido a natureza do processo existe a necessidade de estruturas de suporte, que precisam ser removidas posteriormente.
- Pode haver a necessidade de cura posterior para garantir a integridade estrutural da peça
- Suas principais limitantes estão no pós-processo (limpeza, pós cura, remoção das estruturas de apoio), e a estabilidade do material, o qual se torna mais frágil com o tempo.



# Manufatura aditiva

**SLA  
(Stereolithography)**

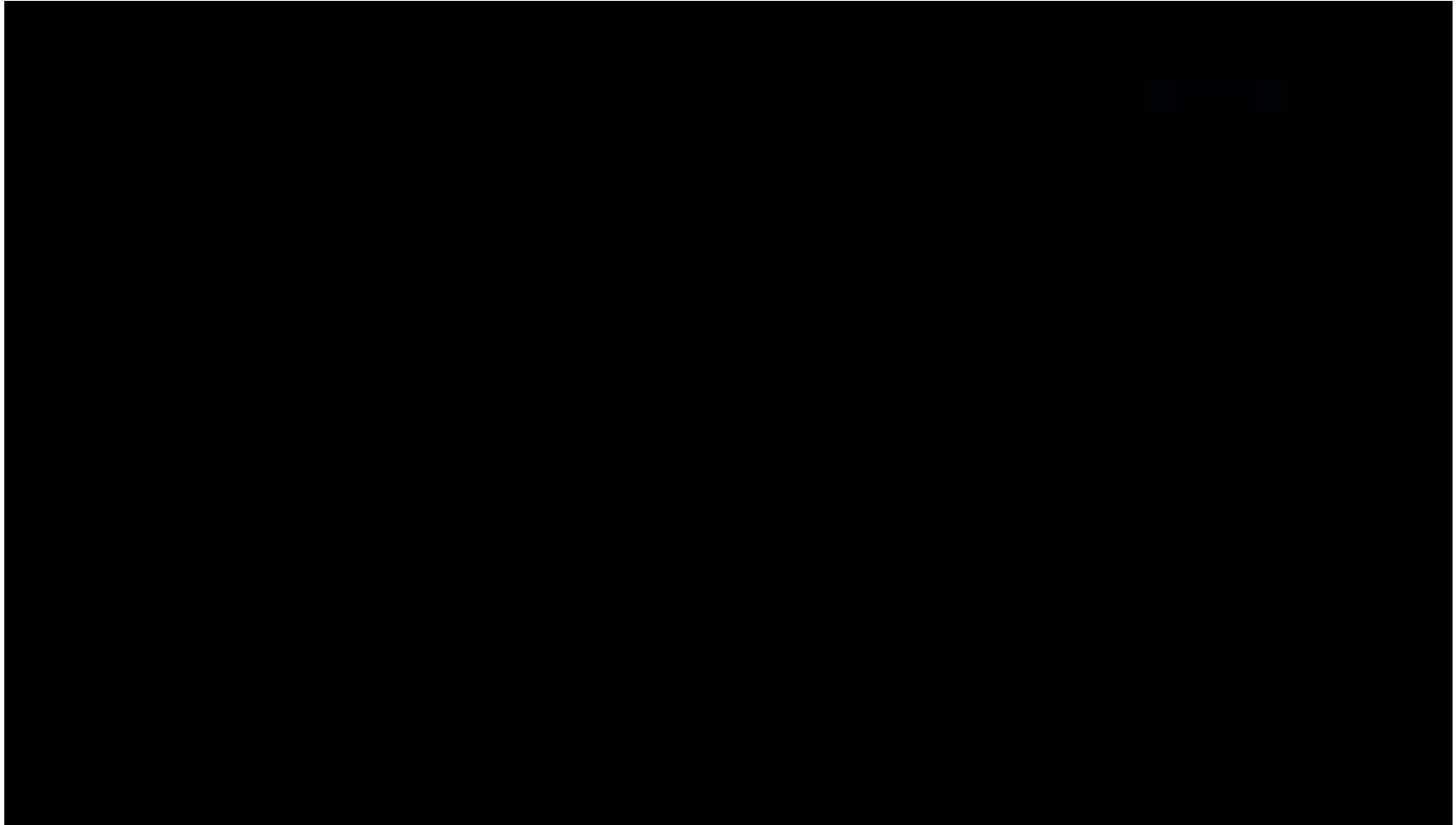
**Video**

<https://www.youtube.com/watch?v=NM55ct5Kwil>

<https://www.youtube.com/watch?v=eKk2vRysioE>



# Introduction to Stereolithography





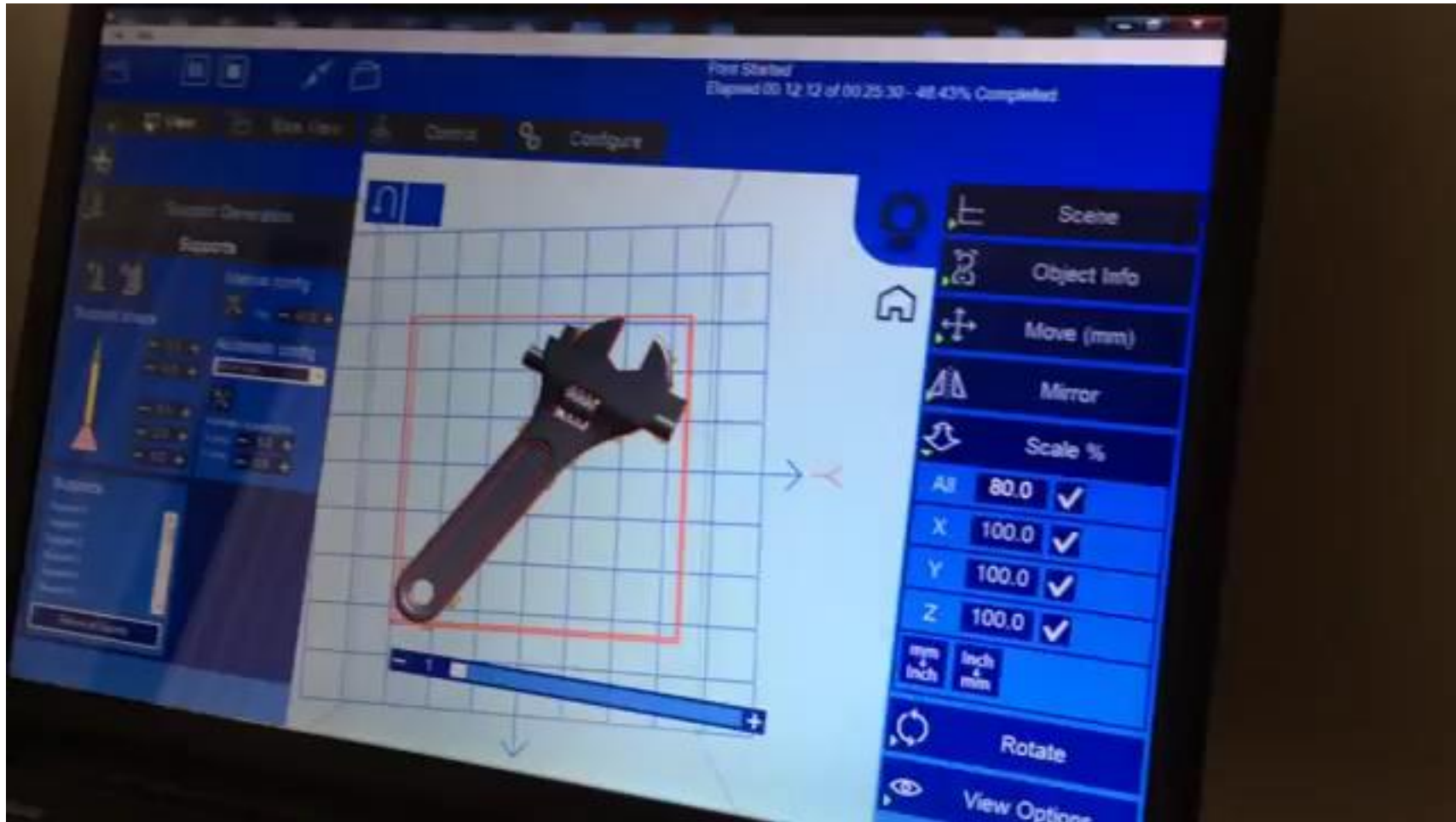




# Manufatura aditiva

**DLP**  
**(Digital Light Processing)**

**Video**

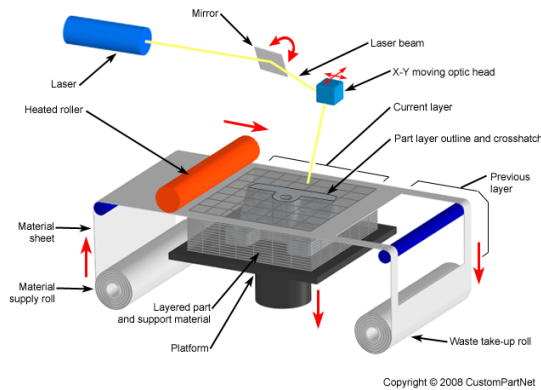




# Manufatura aditiva

## Laminated object manufacturing (LOM)

- É um processo de prototipagem rápida desenvolvido pela Helisys onde as camadas são cordas em papel e coladas sucessivamente.
- O corte pode ser mecânico com lâminas ou por Laser
- Os objetos criados por LOM podem ser posteriormente usinados
- A espessura das camadas é função da espessura do papel utilizado







# Manufatura aditiva

Laminated object  
manufacturing  
(LOM)

Video





# Manufatura aditiva

## Materiais

**Nylon**, or **Polyamide**, is commonly used in powder form with the sintering process or in filament form with the FDM process. It is a strong, flexible and durable plastic material that has proved reliable for 3D printing. It is naturally white in colour but it can be coloured — pre- or post printing. This material can also be combined (in powder format) with powdered aluminium to produce another common 3D printing material for sintering Alumide.

**ABS** is another common plastic used for 3D printing, and is widely used on the entry-level FDM 3D printers in filament form. It is a particularly strong plastic and comes in a wide range of colours.

ABS can be bought in filament form from a number of non-proprietary sources, which is another reason why it is so popular.

**PLA** is a bio-degradable plastic material that has gained traction with 3D printing for this very reason. It can be utilized in resin format for DLP/SL processes as well as in filament form for the FDM process. It is offered in a variety of colours, including transparent, which has proven to be a useful option for some applications of 3D printing. However it is not as durable or as flexible as ABS.



# Manufatura aditiva

## Materiais

**LayWood** is a specially developed 3D printing material for entry- level extrusion 3D printers. It comes in filament form and is a wood/polymer composite (also referred to as WPC).

A growing number of metals and metal composites are used for industrial grade 3D printing. Two of the most common are **aluminium** and **cobalt** derivatives.

One of the strongest and therefore most commonly used metals for 3D printing is **Stainless Steel** in powder form for the sintering/ melting/EBM processes. It is naturally silver, but can be plated with other materials to give a gold or bronze effect.

In the last couple of years **Gold** and **Silver** have been added to the range of metal materials that can be 3D printed directly, with obvious applications across the jewellery sector. These are both very strong materials and are processed in powder form.

**Titanium** is one of the strongest possible metal materials and has been used for 3D printing industrial applications for some time.

Supplied in powder form, it can be used for the sintering/melting/ EBM processes.



# Manufatura aditiva

## Materiais

### ***Ceramics***

Ceramics are a relatively new group of materials that can be used for 3D printing with various levels of success. The particular thing to note with these materials is that, post printing, the ceramic parts need to undergo the same processes as any ceramic part made using traditional methods of production - namely firing and glazing.

### ***Paper***

Standard A4 copier paper is a 3D printing material employed by the proprietary SDL process supplied by Mcor Technologies. The company operates a notably different business model to other 3D printing vendors, whereby the capital outlay for the machine is in the mid-range, but the emphasis is very much on an easily obtainable, cost-effective material supply, that can be bought locally. 3D printed models made with paper are safe, environmentally friendly, easily recyclable and require no post-processing.

### ***Bio Materials***

There is a huge amount of research being conducted into the potential of 3D printing bio materials for a host of medical (and other) applications. Living tissue is being investigated at a number of leading institutions with a view to developing applications that include printing human organs for transplant, as well as external tissues for replacement body parts. Other research in this area is focused on developing food stuffs - meat being the prime example.





# Manufatura aditiva

## Materiais

### ***Bio Materials***

There is a huge amount of research being conducted into the potential of 3D printing bio materials for a host of medical (and other) applications. Living tissue is being investigated at a number of leading institutions with a view to developing applications that include printing human organs for transplant, as well as external tissues for replacement body parts.

### ***Food***

Experiments with extruders for 3D printing food substances has increased dramatically over the last couple of years. Chocolate is the most common (and desirable). There are also printers that work with sugar and some experiments with pasta and meat. Looking to the future, research is being undertaken, to utilize 3D printing technology to produce finely balanced whole meals.

### ***Other***

And finally, one company that does have a unique (proprietary) material offering is Stratasys, with its digital materials for the Objet Connex 3D printing platform. This offering means that standard Objet 3D printing materials can be combined during the printing process — in various and specified concentrations to form new materials with the required properties. Up to 140 different Digital Materials can be realized from combining the existing primary materials in different ways.

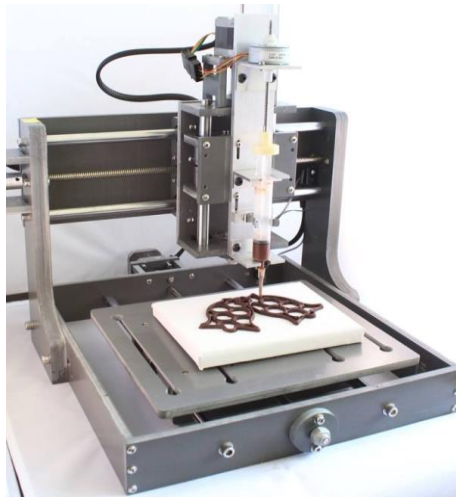
### ***Concrete***



# Manufatura aditiva

## Materiais

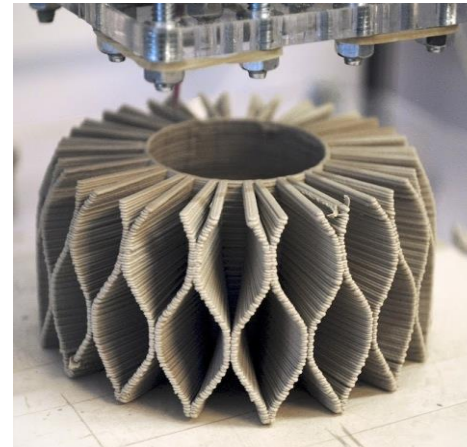
Chocolate



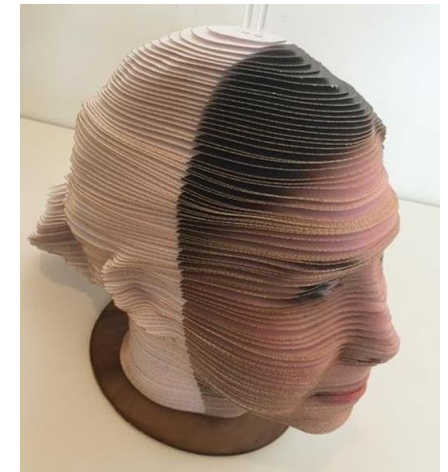
Concreto



Cerâmicas

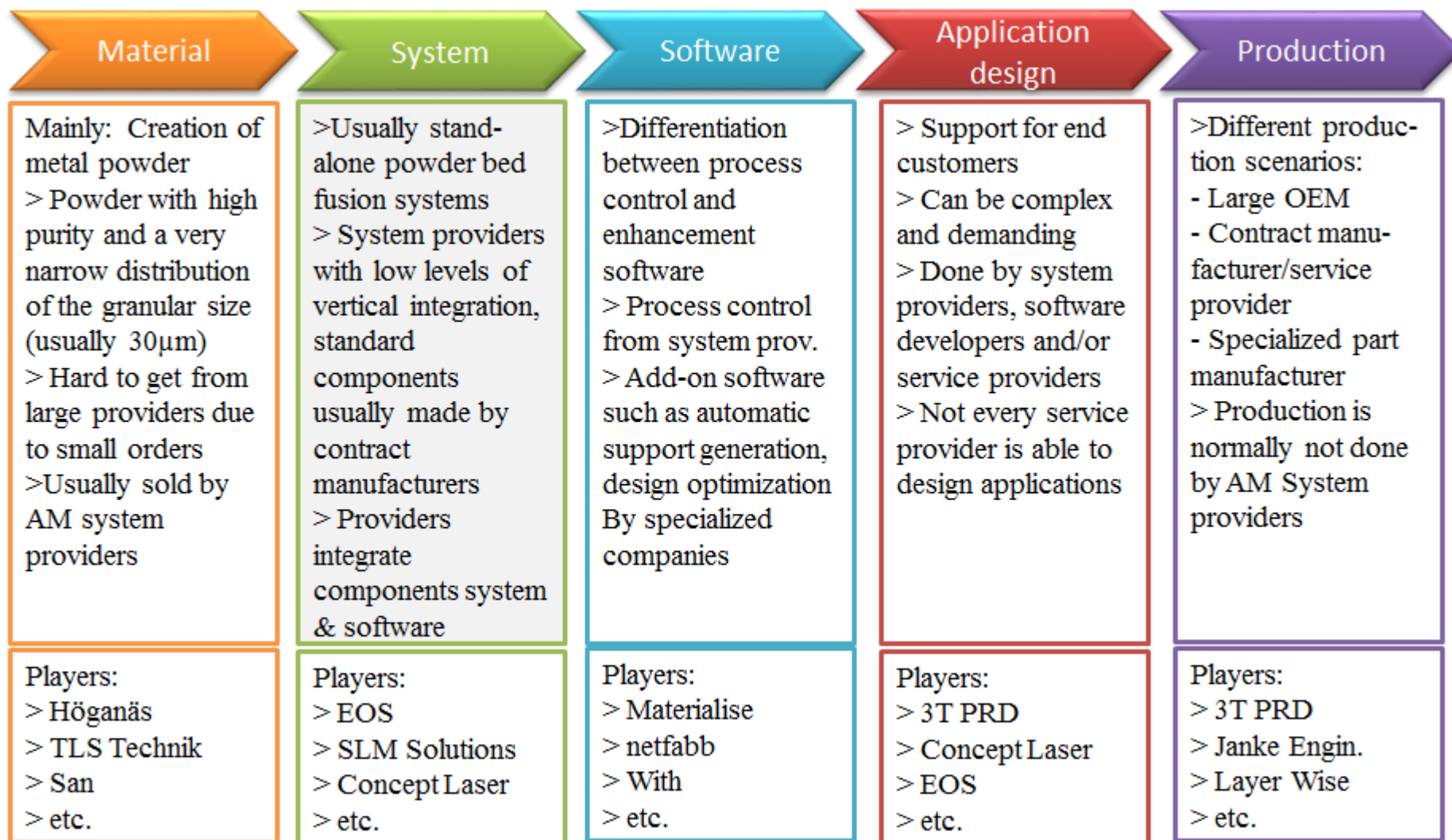


Papel





# Cadeia de valores na manufatura aditiva







# Manufatura aditiva

“3D PRINTING’S POTENTIAL TO REVOLUTIONIZE MANUFACTURING IS QUICKLY BECOMING A REALITY.”

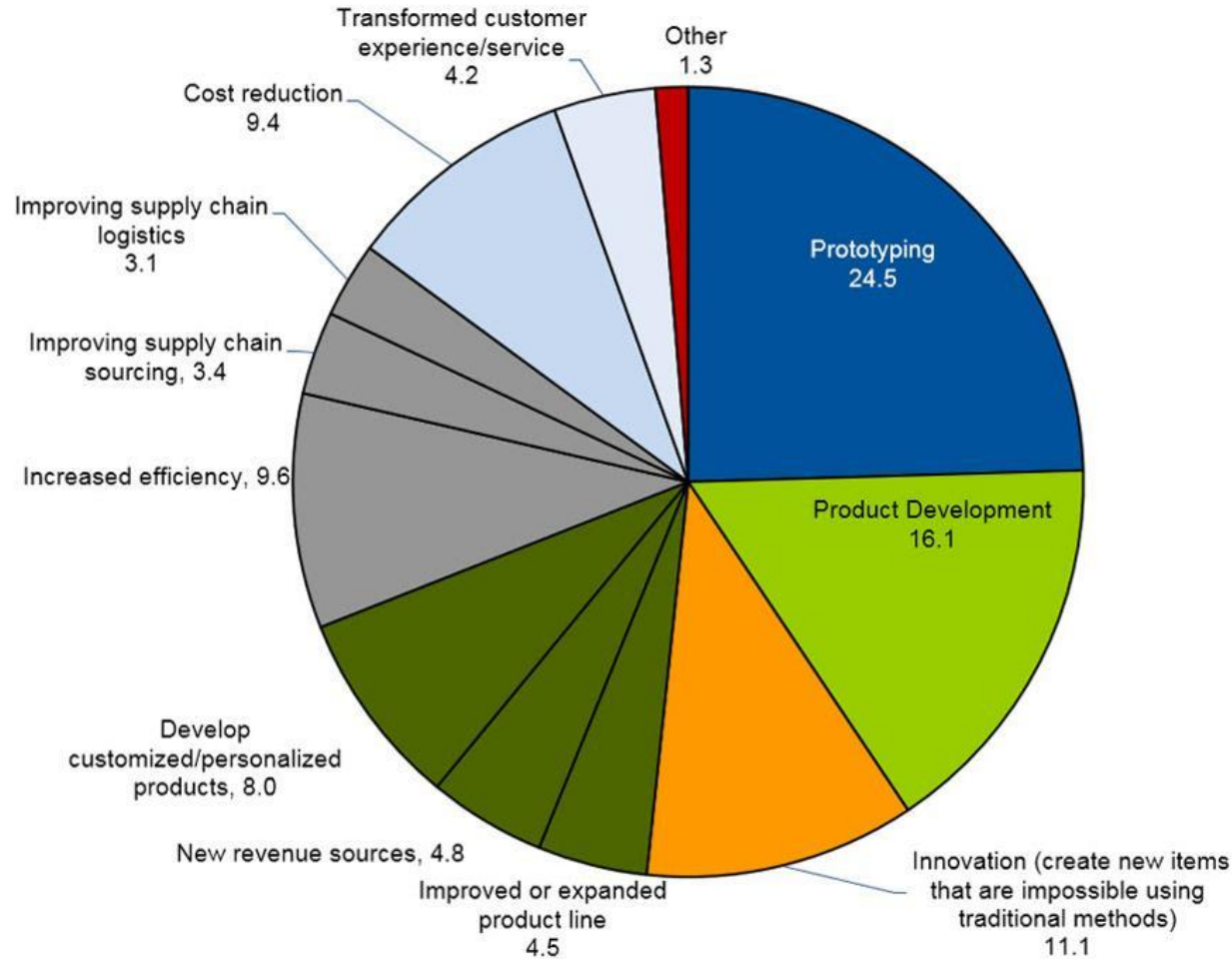


<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#af318271b30f>



# Manufatura aditiva – principais usuários

Figure 1: Reasons for Pursuing 3D Printing



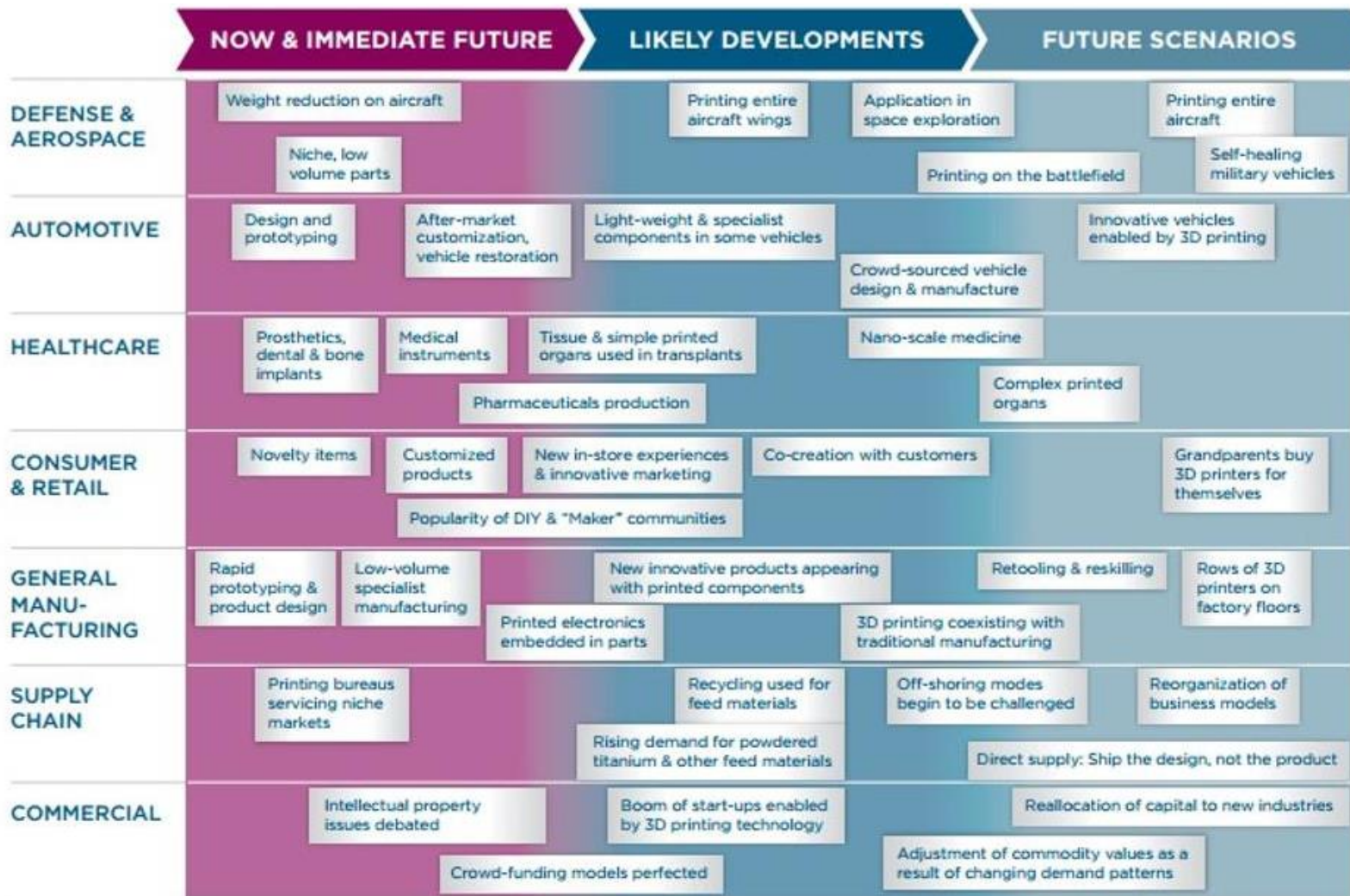
Source: Gartner (November 2014)

<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#af318271b30f>





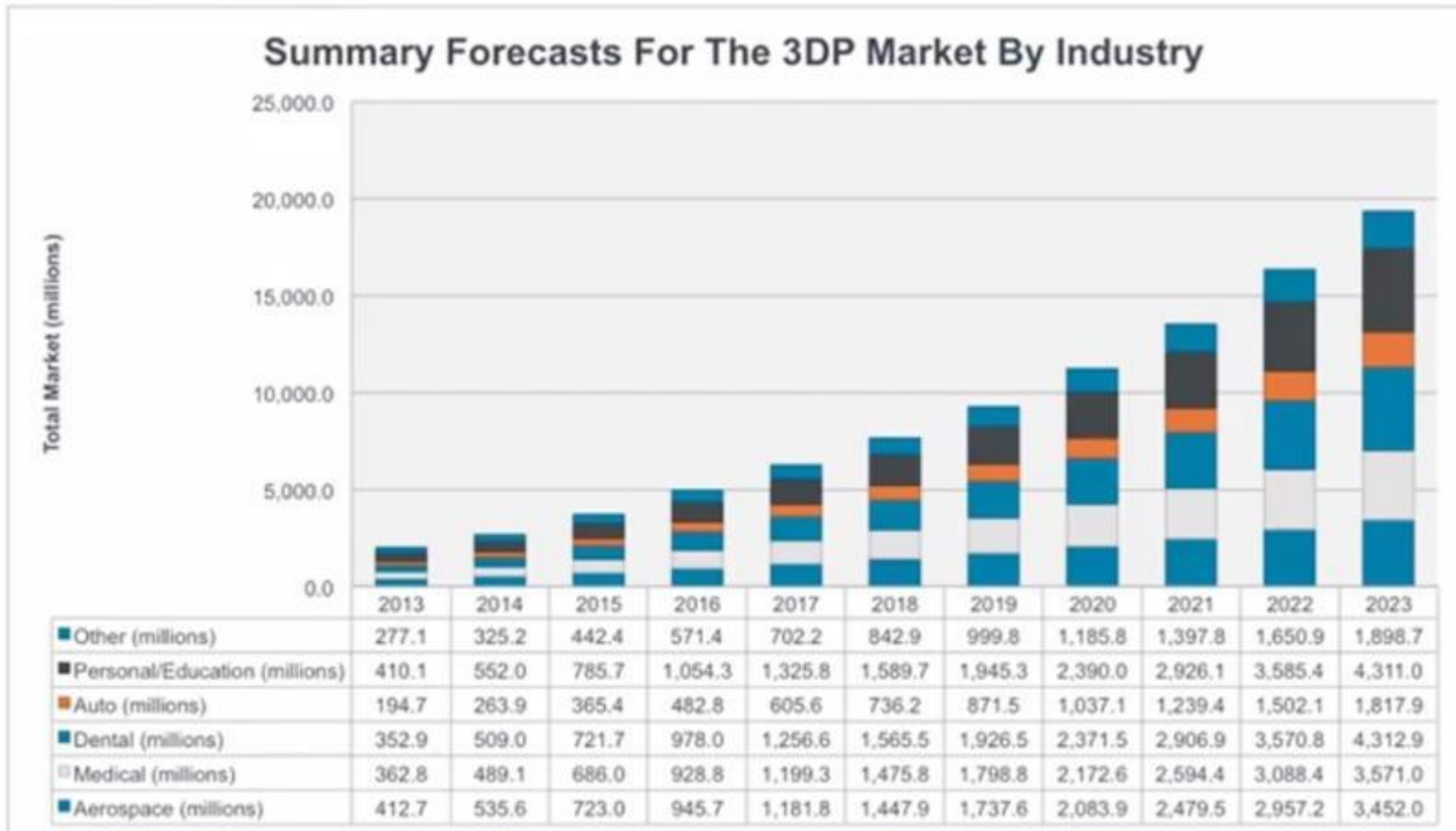
# Manufatura aditiva – principais usuários



<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#af318271b30f>



# Manufatura aditiva – principais usuários e mercado



SMARTECHMARKETS  
P U B L I S H I N G

<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2015/03/31/2015-roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates/#af318271b30f>



## Manufatura aditiva – principais usuários e mercado

### Vantagens

- Fabricação de modelos complexos e flexibilidade;
- Velocidade;
- Possibilidade de desenvolver produtos customizados;
- Ferramental zero;
- Projeto muito leve – otimização topológica;
- Sustentabilidade – mínimo desperdício de material, baixo consumo de energia;
- Ambientalmente amigável – sem resíduos, reuso de materiais;
- Mínimo custo de armazenamento;
- Redução de desemprego – dispersão da tecnologia levará ao aumento da demanda por mão de obra qualificada.



# Manufatura aditiva – principais usuários e mercado

## Desvantagens

- Precisão dimensional e geométrica questionável
- Necessidade de remover o material de suporte
- Limites nos materiais que podem ser empregados
- Complexibilidade na definição dos parâmetros de processo
- Custo de material
- Resistência dos materiais atuais
- Patentes – muitas soluções são protegidas por patentes





## Manufatura aditiva – principais usuários e mercado

### Desvantagens

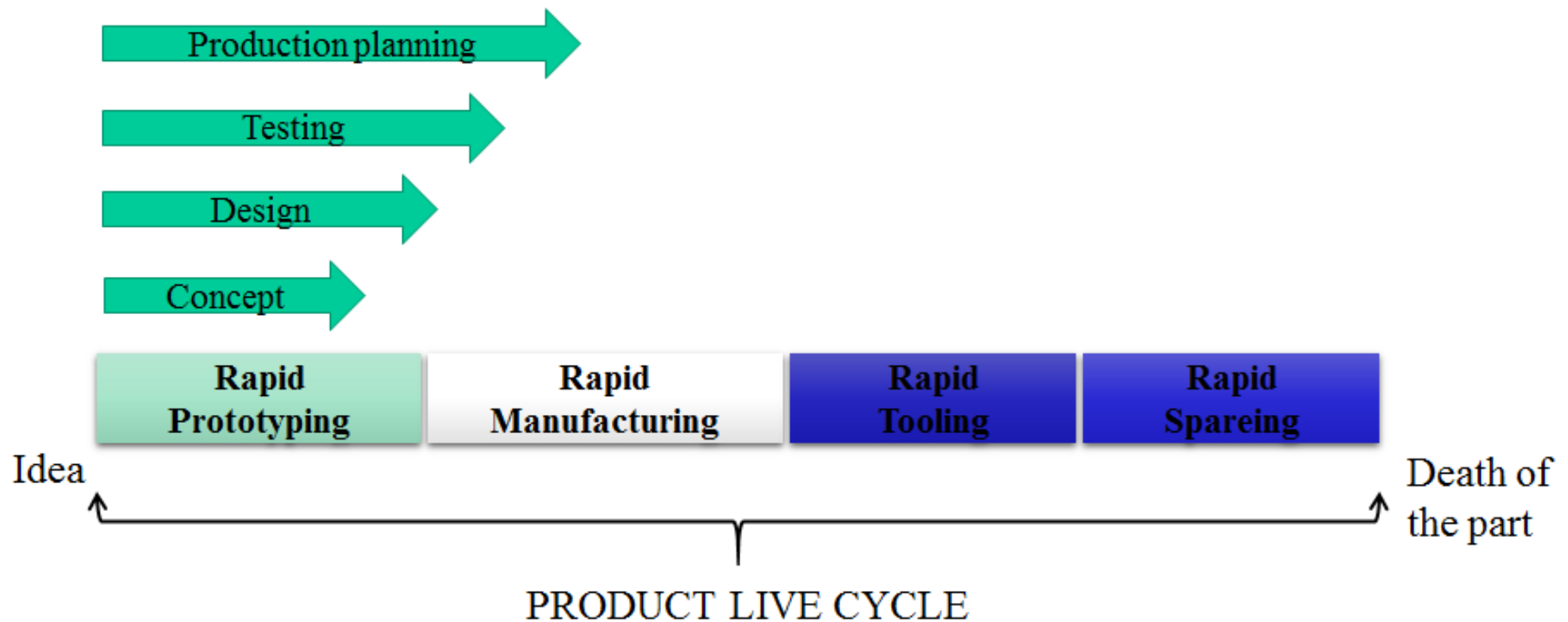
- Limites dos tamanhos possíveis de serem impressos
- Impressão indiscriminada de produtos controlados – ex. armas





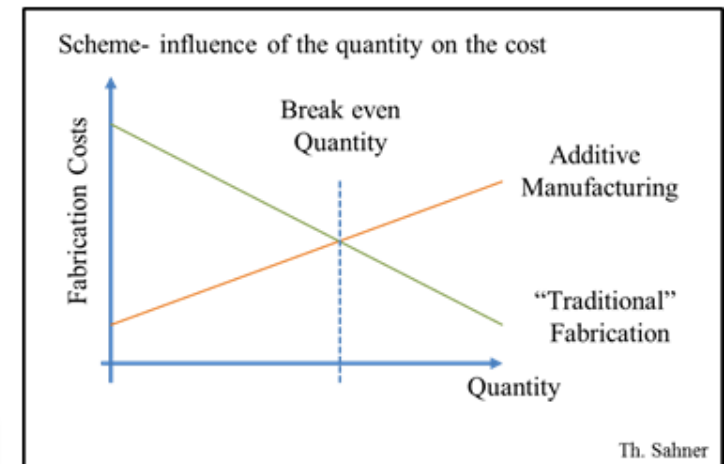
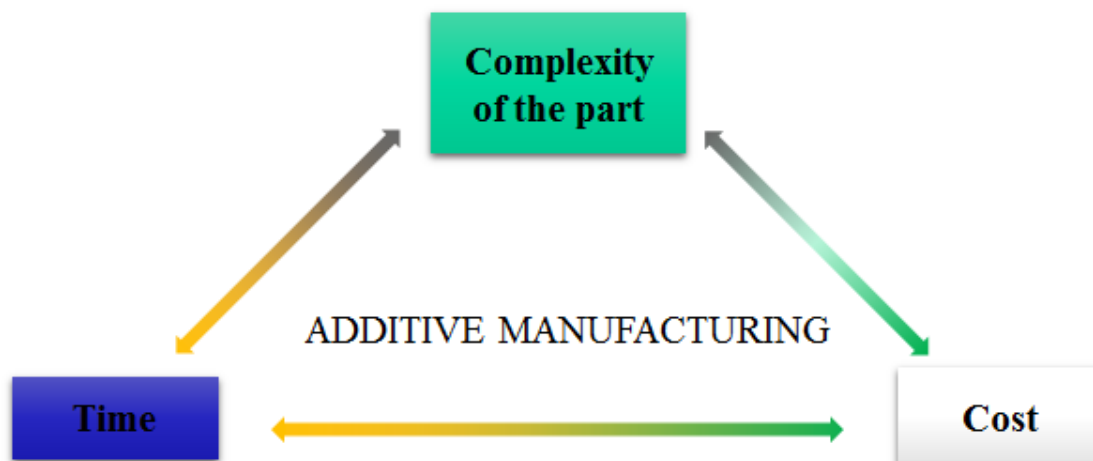
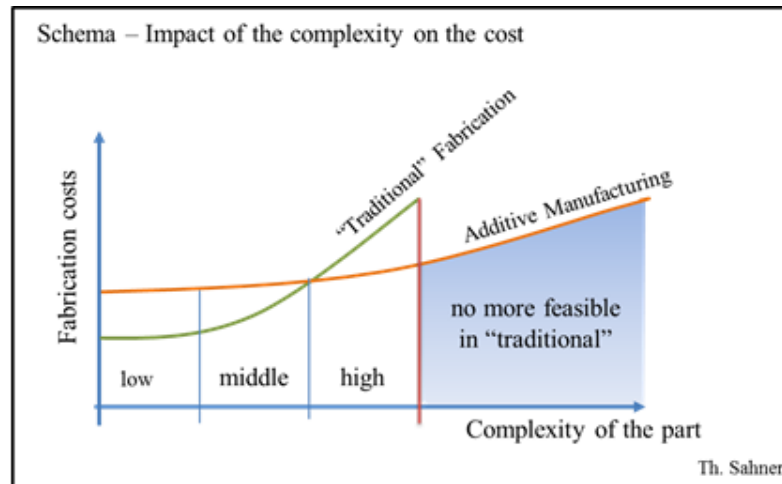


## Manufatura aditiva – ciclo de vida produtivo





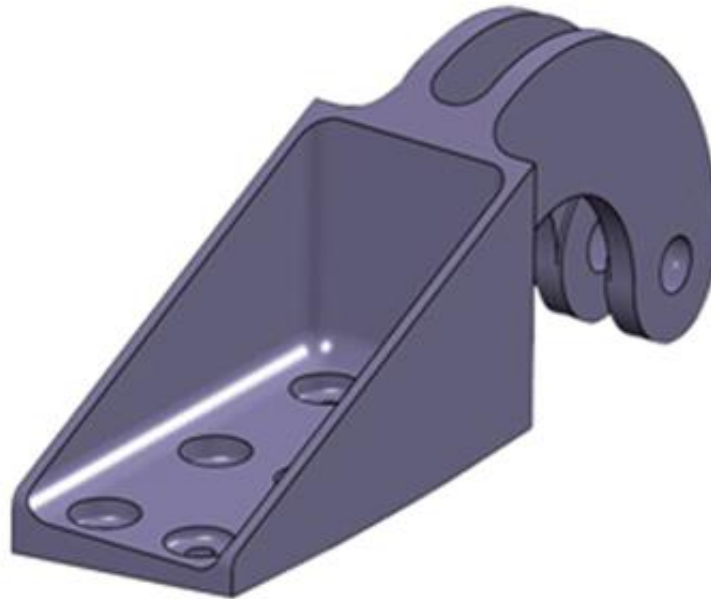
# Manufatura aditiva – ciclo de vida produtivo





## Manufatura aditiva – ciclo de vida produtivo

### Diferença no conceito



- Projeto para manufatura convencional

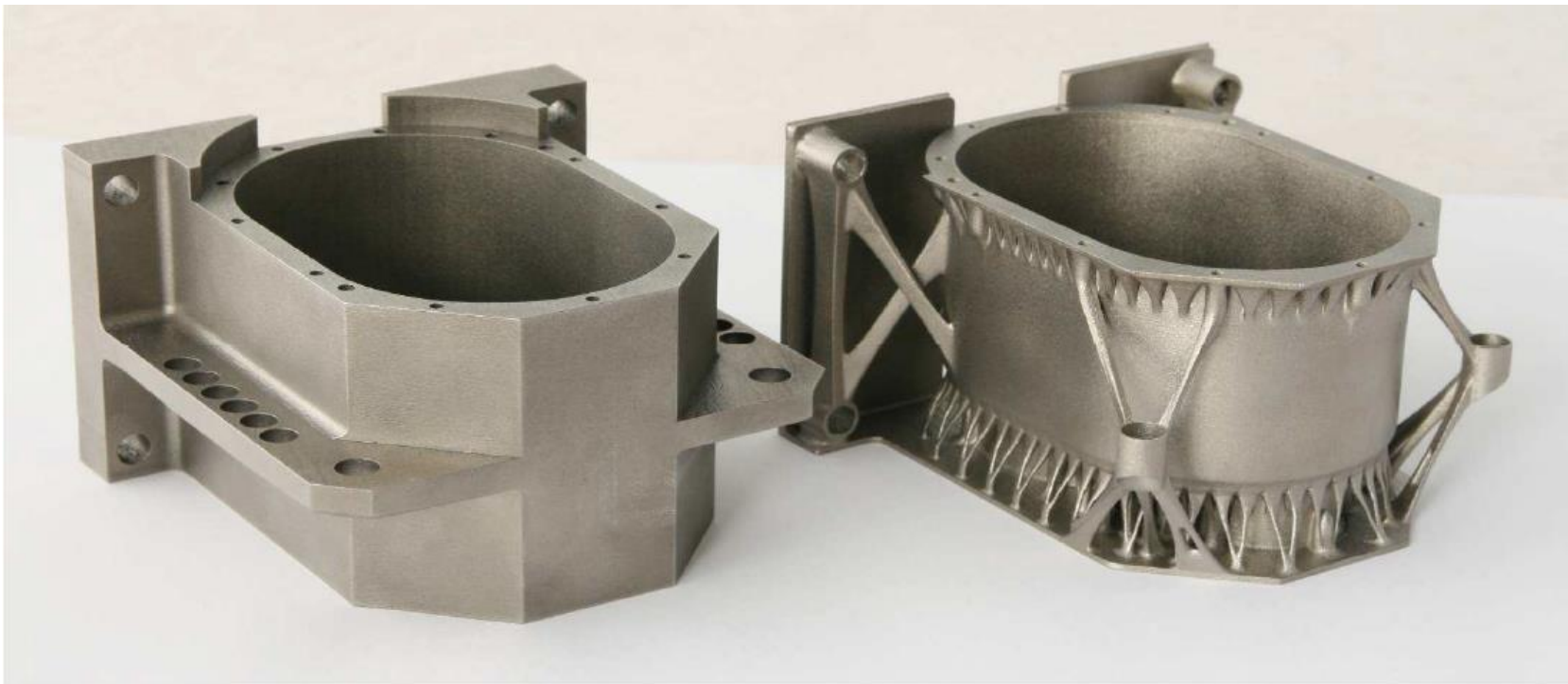


- Projeto para impressão 3D



## Manufatura aditiva – ciclo de vida produtivo

### Diferença no conceito



➤ Projeto para manufatura convencional

➤ Projeto para impressão 3D



# Manufatura aditiva

## Riscos

- **Segurança** – a exposição aos pós podem ser causar doenças quando são manipulados ou trocados
- Risco aos sistemas respiratório – a exposição aos pós pode causar doenças respiratórias
- Risco aos olhos quando da exposição ou manipulação
- Risco a pele quando da exposição aos materiais e sua manipulação
- Exposição a elementos potencialmente cancerígenos
- Exposição a radiação dos Lasers
- Impressão 3D consomem de 50 a 100 vezes mais energia do que os processos de injeção de material (2009, Loughborough University)
- Impressão 3D consomem 100 (+) vezes mais energia do que os processos de fundição convencionais
- Impressão 3D é mais recomendada para a fabricação de pequenos e médios lotes





# Manufatura aditiva

## Riscos

- **Segurança** – emissão de gases nocivos
- Forte dependência do plástico – o que é ecologicamente questionável, problemas relacionais a reciclagem e decomposição dos polímeros na natureza
- Risco associados a licenças, patentes e pirataria
- Risco associado a produção de produtos controlados, Ex. armas
- Responsabilidade solidária do fabricante. Problema jurídico, ex. a impressão de uma arma ou de um capacete que falha, ou fora dos padrões de norma. De quem é a responsabilidade legal? De quem imprimiu? de quem projetou? de quem forneceu a máquina? de quem forneceu o material? Não há jurisprudência orientando. Não existem normas consolidadas
- Questões éticas relacionadas a impressão com bio materiais. Questões éticas, legais e de direitos autorais relacionadas a impressão de órgãos humanos
- Riscos associados a impressão de comida



# Manufatura aditiva

## Aspectos comerciais

- **Formação dos custos** – emissão de gases nocivos
- Aquisição da máquina
- Amortização do investimento
- Custo de energia
- Custo dos consumíveis
- Custo dos equipamentos auxiliares (Ex. limpeza, lavagem, exaustão, gases de proteção, etc.)
- Custo de instalação
- Custo de estoque de materiais
- Custo de manutenção
- Custo de softwares
- Outros



# Manufatura aditiva

Site interessante

<http://www.3ders.org/applications.html>



## Atividade

De 2 exemplos de aplicação de manufatura aditiva. Descreva os processos, tipo de equipamento, software, matéria prima e custo relacionado com o processo e o que achar relevante para uma descrição completa.



**FIM**