



Manufatura Aditiva (MA)

1. Fundamentos
2. Tecnologias
3. Aplicações e Benefícios



Materiais de partida na MA

1. Monômeros líquidos que possam ser curados camada por camada em um polímero sólido
2. Pós que sejam agregados e ligados camada a camada
3. Folhas Sólidas que possam ser laminadas para criar um peça sólida



Métodos de Adição

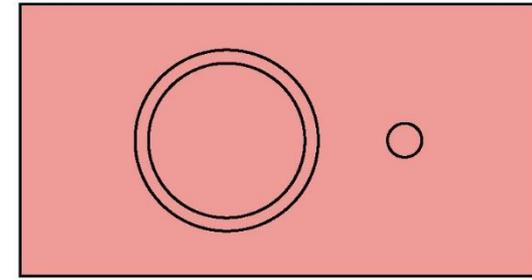
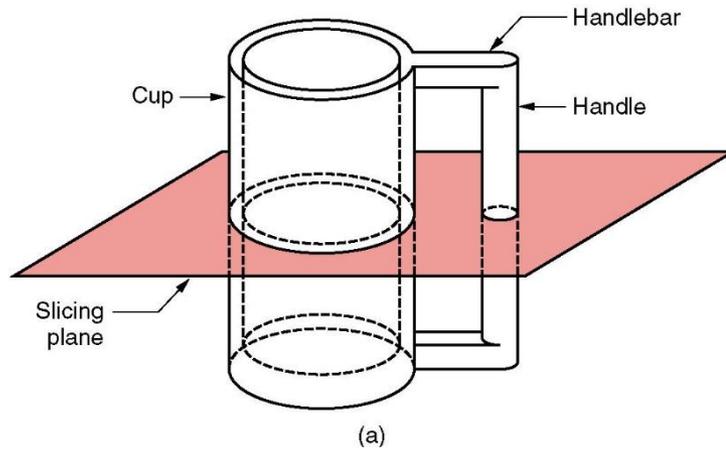
- Além do material de partida, os vários materiais de adição para MA usam diferentes métodos de construção e adicionam camadas para criar uma peça sólida
 - Existe uma correlação entre o material de partida e as técnicas de construção



Passos para preparar as instruções de controle

1. Modelagem Geométrica – modelar o componente em um sistema CAD para definir o volume do envelope
2. “Tessellation” (Trama de tecido) do modelo geométrico – o modelo CAD é convertido em um formato computadorizado que aproxima suas superfícies através de “facetadas” (triângulos ou polígonos)
3. Fatiamento do modelo em camadas – modelo computadorizado é fatiado em camadas paralelas horizontais com empacotamento compacto

Modelo sólido para camadas



Conversão de um modelo sólido de um objeto em camadas (somente uma camada é mostrada).



Classificação das Tecnologias de MA

- Existem diversas formas para classificar as técnicas de MA que estão em uso
- A classificação de MA usada aqui é baseada na forma (ESTADO) do material de partida:
 1. Baseado em Líquido
 2. Baseado em Sólido
 3. Baseado em Pó



Sistemas de MA baseados em líquidos

- Material de partida é um líquido
- Há uma dezena de tecnologias nesta categoria
- Inclui os seguintes processos:
 - Estereolitografia
 - “Solid ground curing”
 - “Droplet deposition manufacturing”
(gotejamento)

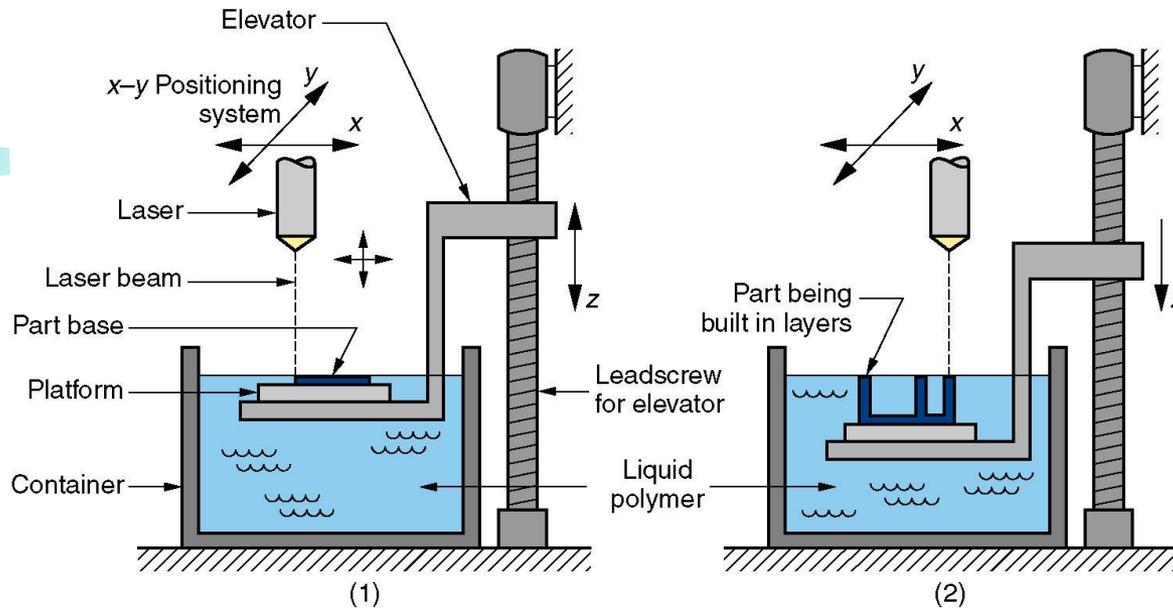


Estereolitografia (*Stereolithography-STL*)

Processos de MA para fabricação de um sólido plástico a partir de um polímero líquido foto sensível usando um feixe de laser direto para solidificar o polímero

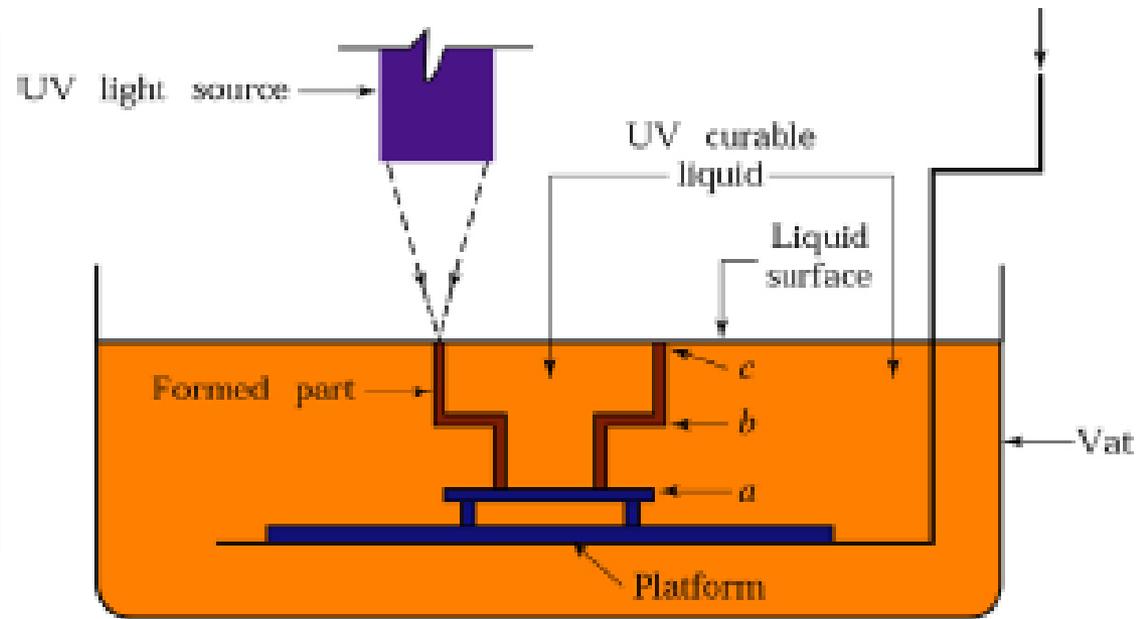
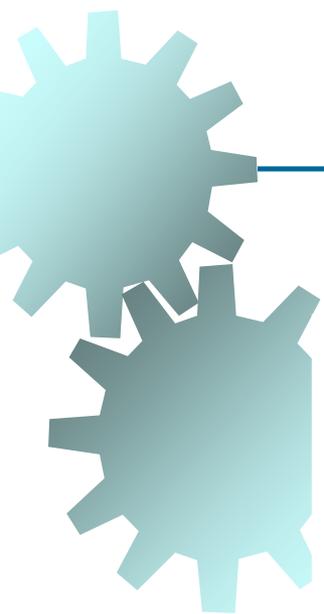
- Fabricação de peças é realizada como uma série de camadas - cada camada é adicionada sobre a camada anterior, construindo assim uma geometria 3D
- A primeira tecnologia MA – introduzida em 1988 pela 3D Systems Inc. baseada no trabalho de Charles Hull
- Método mais usado hoje

STL



Stereolithography: (1) at the start of the process, in which the initial layer is added to the platform; and (2) after several layers have been added so that the part geometry gradually takes form.

STL





A part produced by stereolithography (photo courtesy of 3D Systems, Inc.).



Fatos sobre STL

- Cada camada é de 0,076 mm a 0,50 mm (0.003 a 0.020 in.) de espessura
 - Camadas mais finas oferecem maior resolução e formas mais intrincadas, porém o tempo de processamento aumenta muito
- Materiais de partida são monômeros líquidos
- A Polimerização ocorre pela exposição da luz UV produzida por varreduras de feixes de laser
 - Velocidade de Varreduras ~ 500 a 2500 mm/s



Tempo de construção em STL

Tempo para produzir uma única camada :

$$T_i = \frac{A_i}{vD} + T_d$$

onde T_i = tempo para completar a camada i ; A_i = área da camada i ; v = velocidade média da varredura do feixe laser na superfície; D = diâmetro do feixe “spot size,” assumido circular; e T_d = tempo entre camadas para movimentação da mesa



Tempo de construção em STL - continuação

Uma vez que os valores de T_i tenha sido determinados para todas as camadas, então determina-se o tempo de ciclo:

$$T_c = \sum_{i=1}^{n_i} T_i$$

onde T_c = tempo de ciclo do STL; e n_i = números de camadas usadas para se chegar a peça completa

- **O Tempo para construir uma peça** varia de uma hora para pequenas peças de geometria simples a várias dezenas de horas para peças complexas

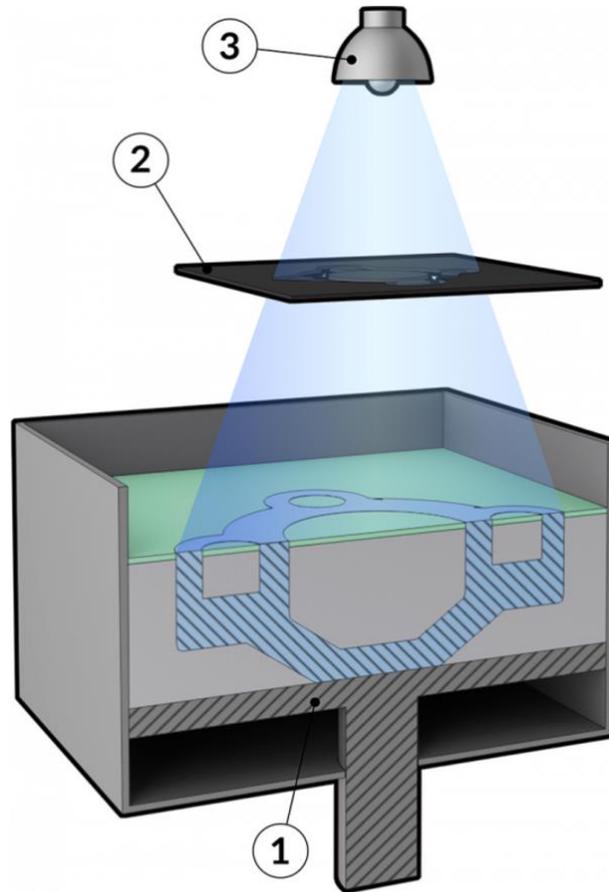


“Solid Ground Curing” (SGC)

Similar a SLT, SGC trabalha com a cura de camada por camada de polímero foto-sensível para criar um modelo sólido baseado em dados de um modelo geométrico em CAD

- Ao invés de usar uma varredura de um feixe de laser para a cura de uma dada camada, a camada toda é exposta a uma fonte de UV através de uma máscara sobre o polímero líquido
- Tempo de endurecimento ou cura é de 2 a 3 s por camada

“Solid Ground Curing”





Fatos sobre *solid ground curing* SGC

- Tempo para produzir uma peça através de SGC é da ordem de aprox. 8 x mais rápida do os outros sistemas MA
- Sólidos com forma cúbica criados no SGC consistem de polímeros sólidos ou de cera
- A cera oferece apoio e suporte para partes frágeis do modelo durante a fabricação, mas ela pode fundir posteriormente para deixar a peça livre desses anexos

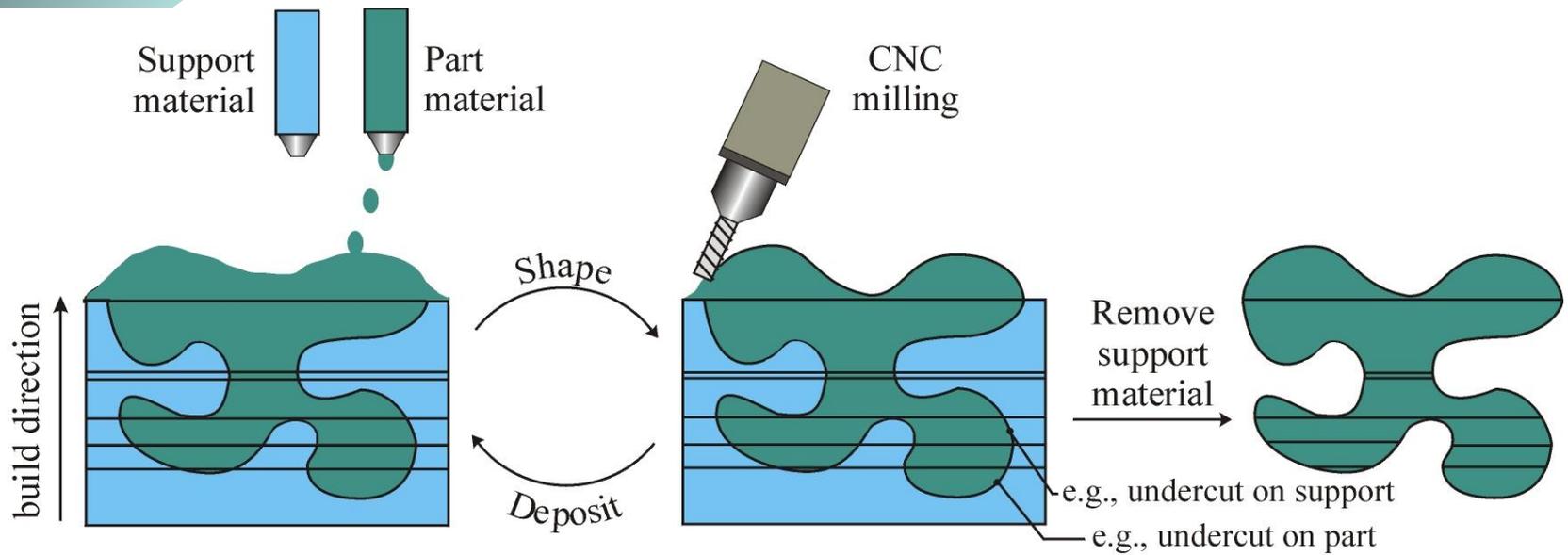


Droplet Deposition Manufacturing (DDM)

Material de partida é fundido e pequenas gotas são lançadas através de um bico aspersor sobre a camada previamente formada

- Gotas (“Droplets”) fundem-se e resfriam em contato com a superfície para formar uma nova camada
- Deposição de cada camada é controlada através do movimento x-y do bico aspersor cujo caminho baseia-se na seção transversal de um modelo geométrico CAD que é fatiado em camadas
- Materiais de trabalho incluem cera e termoplásticos

Droplet Deposition Manufacturing (DDM)





Sistemas para MA baseados em sólidos

- Material de partida é sólido
- Sistemas MA baseados em sólidos incluem os seguintes processos:
 - *Laminated object manufacturing*
 - *Fused deposition modeling*

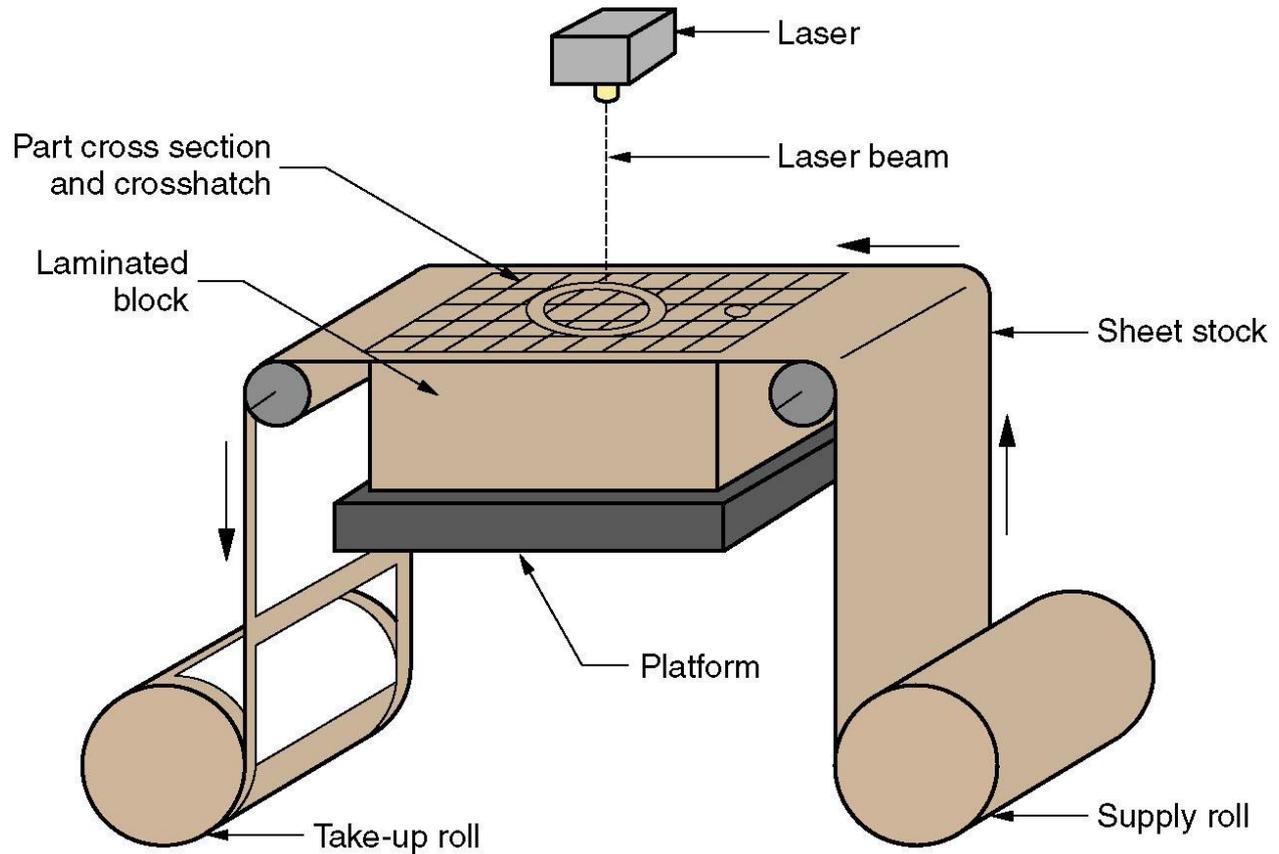


Laminated Object Manufacturing (LOM)

Modelo físico sólido feito através de empilhamento de camadas de um rolo, cada porção da seção transversal é obtida de um modelo CAD também fatiado em camadas

- O estoque de folha (bobinas) inclui papel, celulose, metais ou materiais reforçados com fibras
- A folha é geralmente fornecida com algum adesivo na parte anterior através de um “molhamento” para aderir à camada anterior.
- Após o corte o excesso de material nas camadas permanecem para apoiar a peça durante a construção.

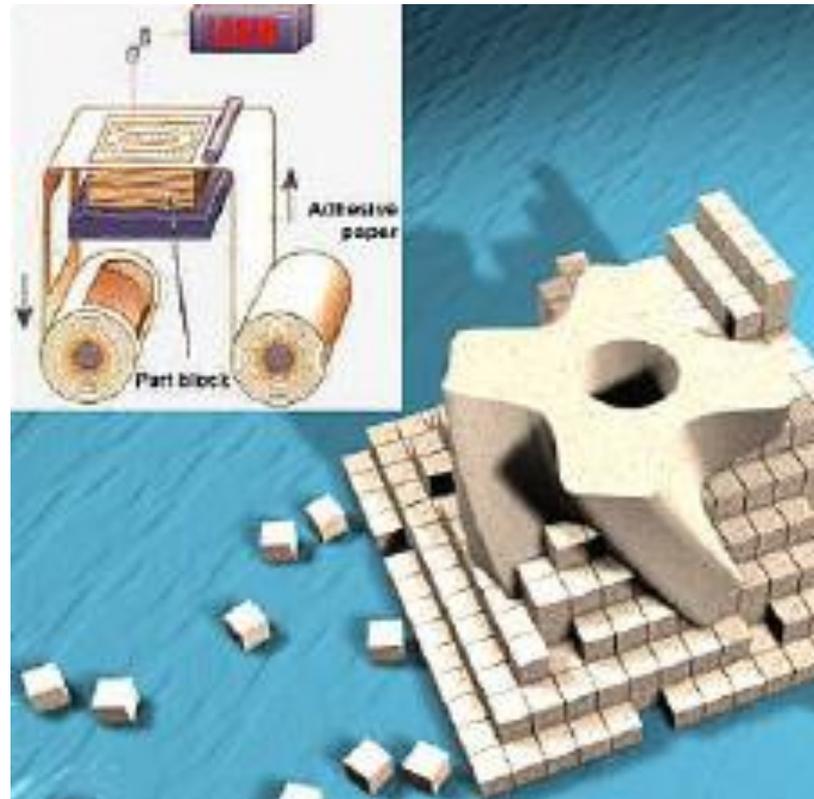
Laminated Object Manufacturing

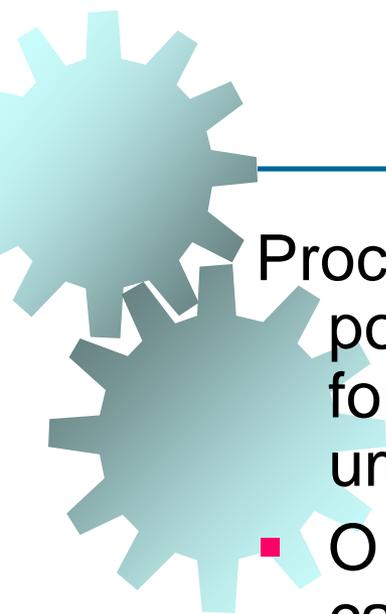


Laminated object manufacturing.

Laminated Object Manufacturing

- Manufatura de objeto por laminação (LOM) - Exemplo





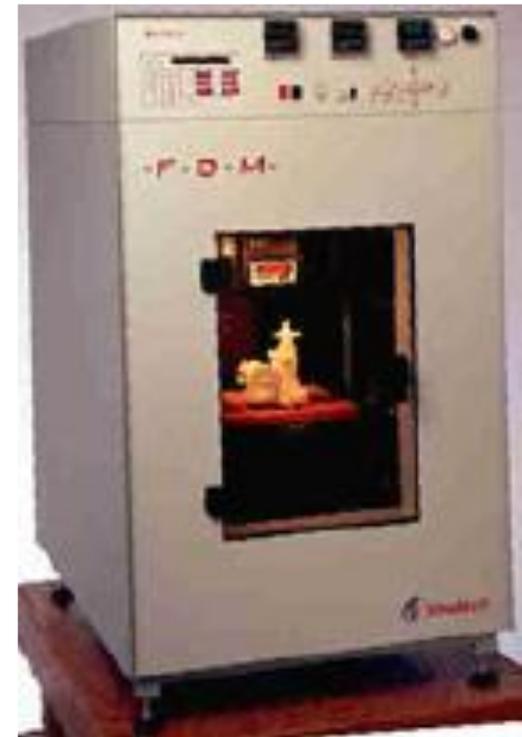
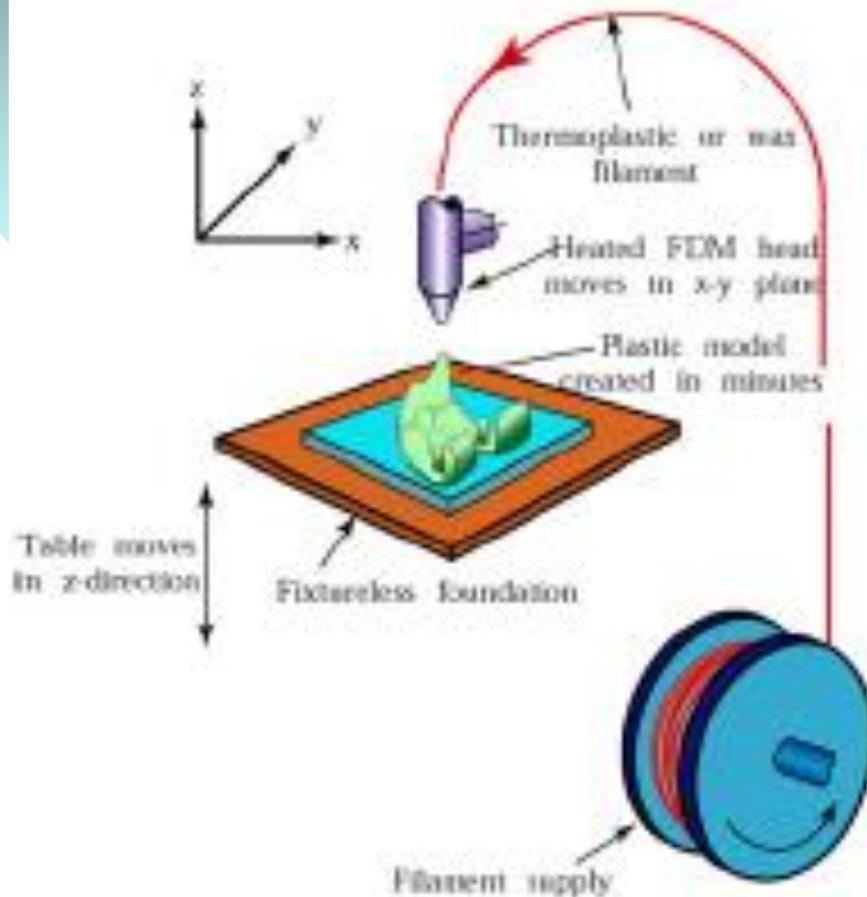
Fused Deposition Modeling (FDM)

Processo de MA no qual um longo filamento de cera ou polímero é extrudado sobre uma superfície para formar a superfície de uma peça, lançado através de um cabeçote, para formar cada nova camada

- O cabeçote é controlado no plano x-y durante cada camada e então move-se para cima (direção z) a uma distância equivalente a uma camada
- O extrudado é solidificado e soldado resfriado à superfície da peça mais fria num tempo de aprox. 0,1 s
- Peça é fabricada a partir da base, usando um procedimento camada por camada.

Fused Deposition Modeling (FDM)

- Modelagem por deposição fundida (FDM)- (Stratasys)



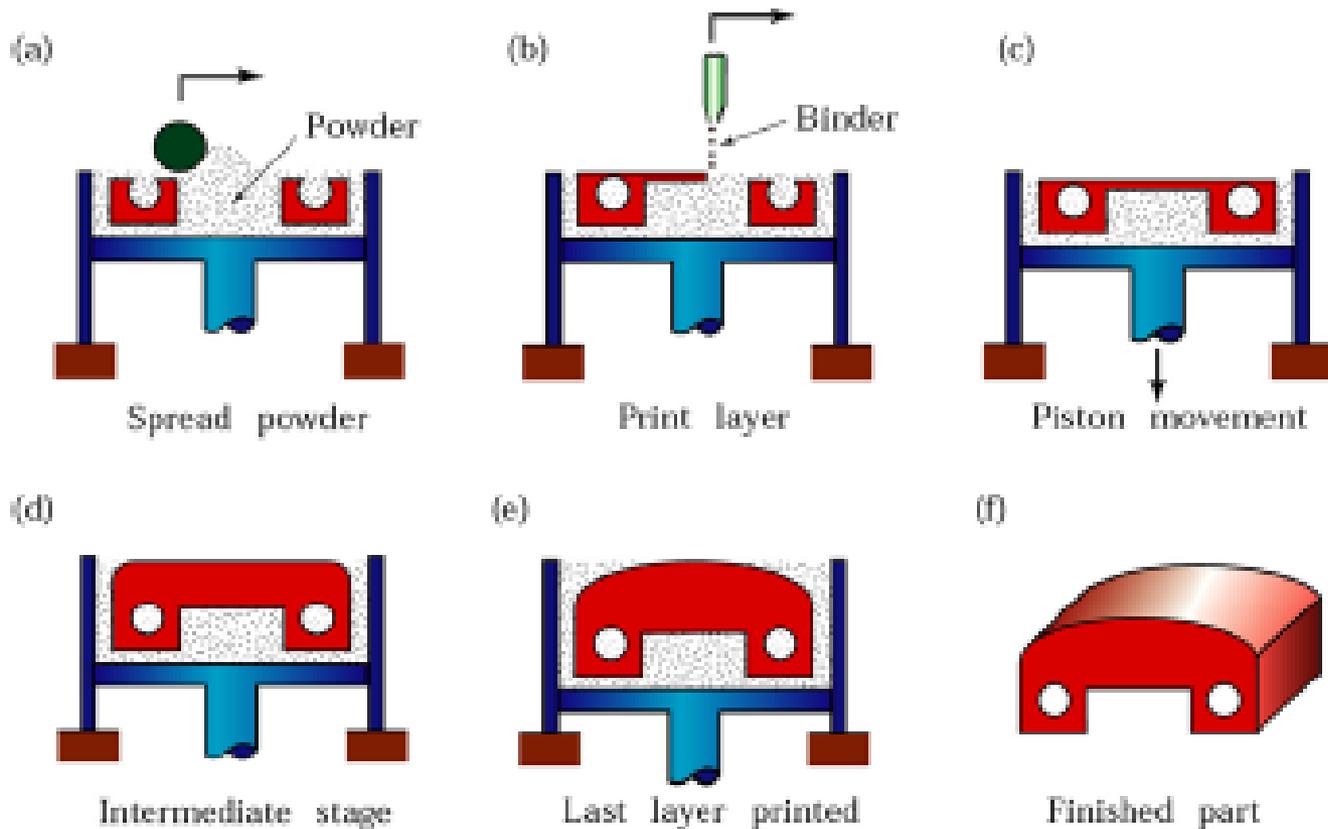


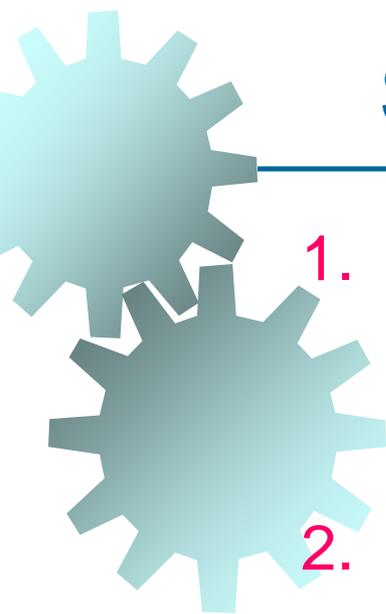
Sistemas de MA baseados em pó

- Material de partida é um pó
- Sistemas de MA baseado em pó inclui o seguinte:
 - Sinterização seletiva a laser
 - Impressão 3D

Sistemas de MA baseados em pó

- Impressão Tridimensional





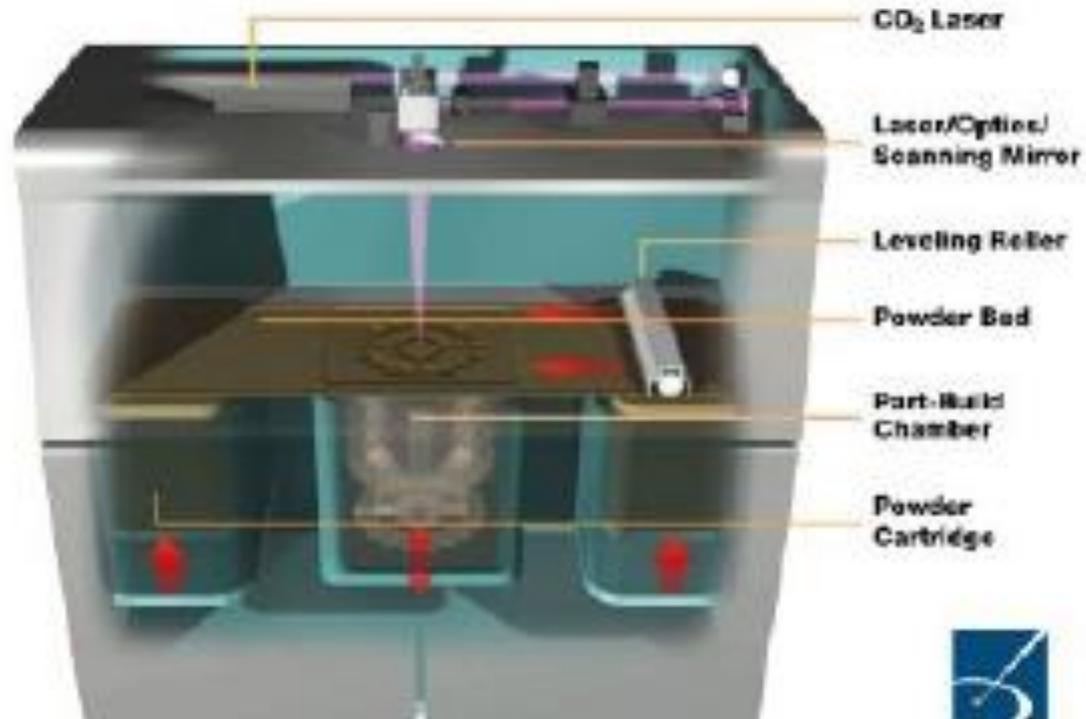
Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

1. Feixe móvel de laser sinteriza o pó fundido por calor em áreas correspondentes ao modelo de geometria CAD uma camada por vez para construir a peça
2. Após cada camada ser completada, uma nova camada de pó é espalhado sobre a superfície.
3. Camada por camada, os pós são gradualmente ligados através de um feixe de laser em uma massa sólida que forma um peça 3D
4. Em áreas não sinterizadas, os pós são liberados e espalhados sobre a peça completada.

Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

- Sinterização Seletiva a Laser
(Sistemas 3D)

The Sinterstation® 2500 System Process Chamber



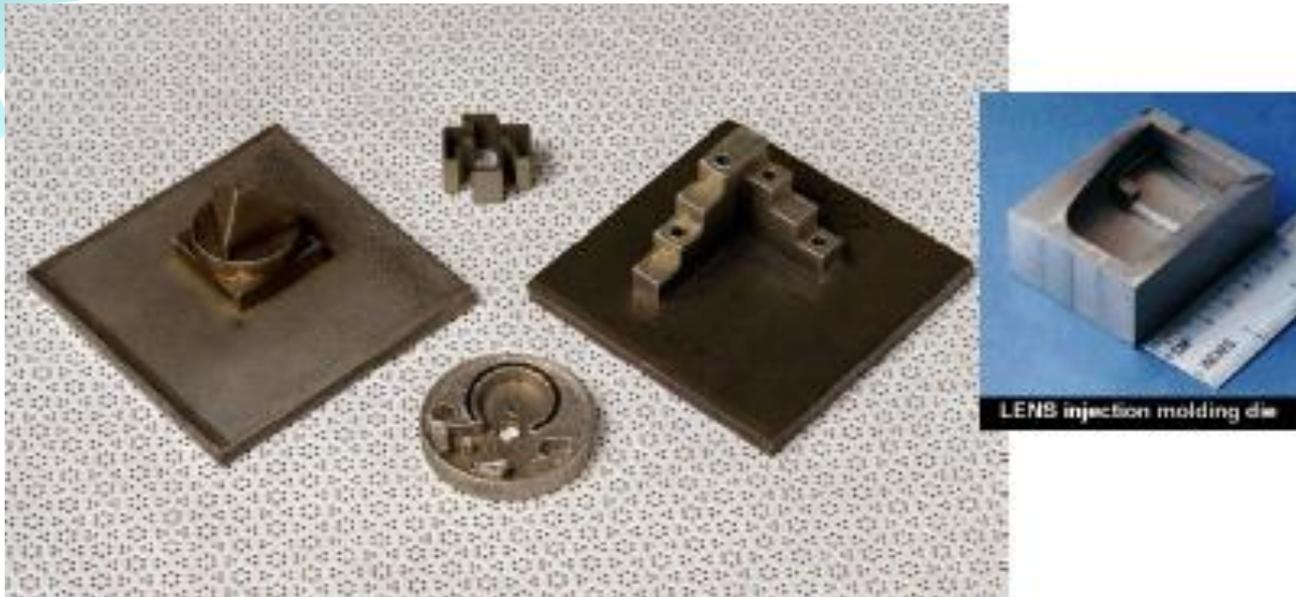
Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

- *Light Engineered Net Shaping (1)*
(Sandia National Lab)



Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

- Peças feitas através Light Engineered Net Shaping (Sandia National Lab)



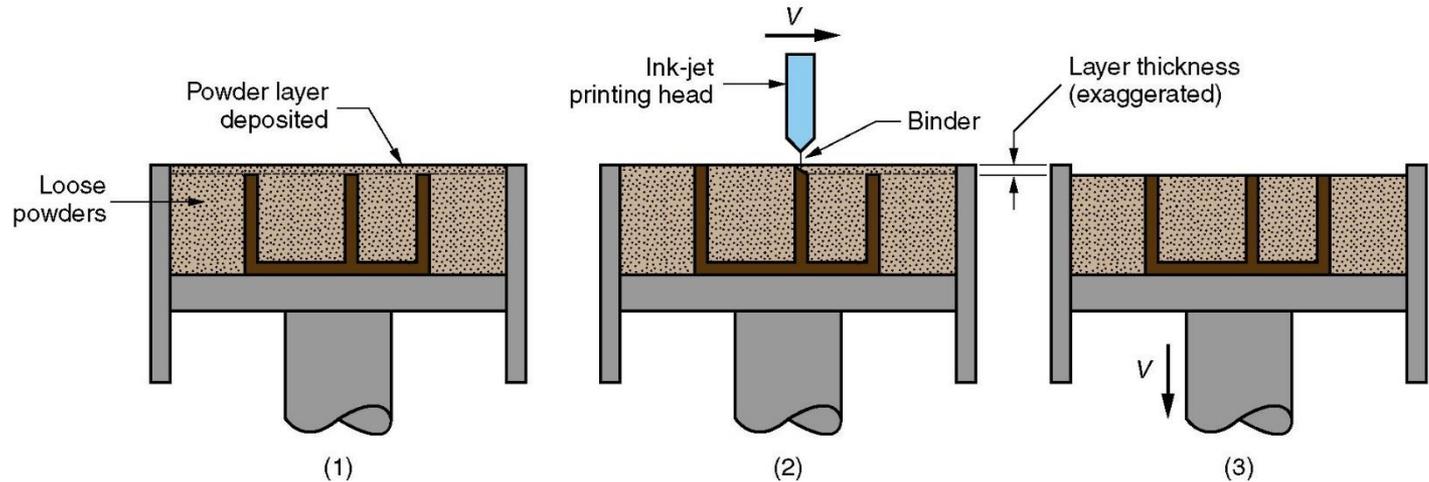


Impressão Tridimensional (I3D)

A peça é construída camada a camada usando um jato de tinta para lançar o adesivo sobre as camadas sucessivas de pó

- O ligante é depositado em áreas correspondentes a seção transversal da peça, como estabelecido pelo fatiamento do modelo geométrico CAD em camadas
- O ligante mantém o pó unido para formar a peça sólida, enquanto o pó não ligado permanece solto para ser removido posteriormente
- Para aumentar a resistência da peça, um passo de sinterização pode ser aplicado para ligar os pós individuais

I3D



Three dimensional printing: (1) powder layer is deposited, (2) ink-jet printing of areas that will become the part, and (3) piston is lowered for next layer (key: v = motion).



Aplicação em Manufatura

- Pequenos lotes de peças plásticas que não poderiam ser economicamente moldadas por causa do alto custo do molde
- Peças com geometrias internas intrincadas que não poderiam ser feitas usando tecnologias convencionais sem montagem.
- Peças únicas tais como implantes de ossos que devem ser feitas de acordo com as medidas do receptor



Problemas com MA

- Precisão da peça:
 - Aparência escalonada “*Staircase appearance*” para inclinações em superfícies de peças devido ao empilhamento de camadas
 - Retração e distorção de peças feitas por MA
- Variedade limitada de materiais para MA
 - Desempenho mecânico das peças fabricadas é limitado pelos materiais que podem ser usados no processo de MA