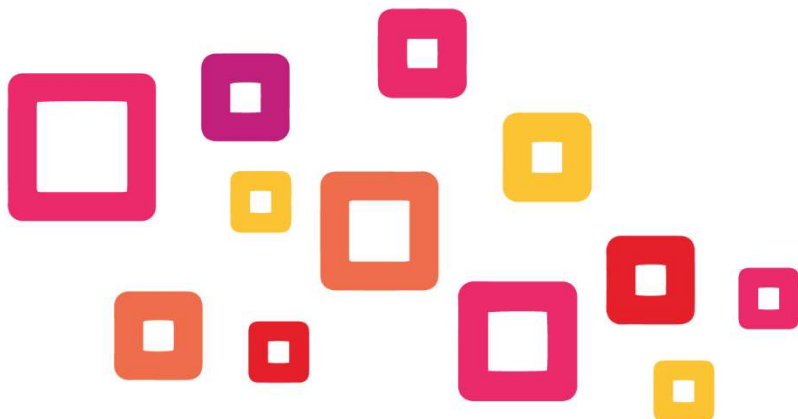


Cre@

UNIDADE 3

Fabrico Aditivo e Impressão 3D na Indústria 4.0



Índice

Introdução	3
Resultados de aprendizagem	4
3.1 Conceitos básicos de Fabrico Aditivo e Impressão 3D	5
3.2 Fabrico Aditivo: processos, materiais e áreas de aplicação	9
3.2.1 Tipos de processos de fabrico aditivo.....	9
3.2.2 Materiais utilizados em processos de fabrico aditivo	13
3.2.3 Áreas de aplicação do fabrico aditivo.....	15
3.3 Software 3D necessário à Impressão 3D	20
3.4 Vantagens e desvantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D na Indústria 4.0....	24
3.4.1 Vantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D	24
3.4.2 Desvantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D.....	26
Referências.....	28

Introdução

A mais recente revolução industrial - também designada por *Indústria 4.0* ou *Quarta Revolução Industrial* - integra modos inteligentes de produção como o fabrico aditivo (FA), também conhecida como manufatura avançada, e a impressão 3D, os quais são considerados tecnologias centrais deste novo movimento industrial. A acelerada emergência de tecnologias como o FA requer a aquisição de novas competências, como condição necessária à adaptação do tecido industrial a esta transição digital.

Pretende-se com esta unidade o enquadramento geral dos processos de fabrico aditivo e de impressão 3D, permitindo aos formandos a aprendizagem dos conceitos mais importantes relacionados com estas áreas, as suas principais aplicações e algumas das implicações das tecnologias de FA e impressão 3D ao nível do design e dos processos de fabrico da era da Indústria 4.0.

No final desta Unidade, os formandos deverão ter adquirido o conhecimento e o à-vontade necessários com os principais conceitos das tecnologias de FA e impressão 3D que lhes permitirão ensiná-los aos seus formandos, promovendo assim junto destes uma maior preparação e consciência relativamente a oportunidades de trabalho nas áreas de FA e impressão 3D.

A Unidade 3 - Fabrico Aditivo e Impressão 3D na Indústria 4.0 - é composta pelas seguintes Subunidades:

1. Conceitos básicos de Fabrico Aditivo e Impressão 3D;
2. Fabrico Aditivo: processos, materiais e áreas de aplicação;
3. Software 3D necessário à Impressão 3D;
4. Vantagens e desvantagens do Fabrico Aditivo e da Impressão 3D na Indústria 4.0.

Resultados de aprendizagem

Após completar a presente Unidade, o formando deverá ser capaz de...

Conhecimentos	Aptidões	Responsabilidade e Autonomia
<p>Conhecimentos fundamentais sobre FA e impressão 3D na Indústria 4.0:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conceitos básicos; - Materiais; - Principais etapas de um processo de FA; - Processos de deposição; - Vantagens e limitações da tecnologia. <p>Conceitos básicos sobre FA e Impressão 3D na Indústria 4.0:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipamento; - Software; - Principais áreas de aplicação. 	<p>Compreender os conceitos de FA e impressão 3D na era da Indústria 4.0</p> <p>Conhecer os principais materiais utilizados no FA e impressão 3D, em termos das suas principais propriedades e utilizações - metais, plásticos, materiais cerâmicos e compósitos, entre outros.</p> <p>Identificar as principais limitações e desafios relacionados com o uso de materiais no FA e impressão 3D.</p> <p>Identificar as principais etapas do FA, designadamente o pré-processamento, fabrico da peça e a fase de acabamentos.</p> <p>Descrever os processos de deposição e impressão mais comuns em tecnologias de FA e impressão 3D.</p> <p>Compreender os principais benefícios e limitações das tecnologias de FA e impressão 3D na Indústria 4.0 quando comparados com técnicas e processos de fabrico industrial tradicionais.</p> <p>Conhecer e distinguir o equipamento mais utilizado em processos de FA e impressão 3D em função do tipo de método de deposição.</p> <p>Classificar o software de FA e impressão 3D utilizado em cada etapa do processo de fabrico, designadamente nas etapas de modelação digital, geração do modelo de camadas, etc.</p> <p>Utilizar o software <i>Tinkercad</i> para o desenho e modelação de protótipos para impressão 3D.</p> <p>Identificar as principais áreas de aplicação das tecnologias de FA e impressão 3D na Indústria 4.0, designadamente as áreas aeroespacial, fabrico automóvel, equipamento médico e objetos do dia a dia, entre outras.</p>	<p>Esclarecer e consciencializar os seus formandos acerca do potencial de utilização das tecnologias de FA e impressão 3D nas Indústrias Culturais e Criativas (ICC).</p> <p>Convidar à utilização da impressão 3D para o fabrico de peças e objetos únicos de utilização comum no dia-a-dia.</p> <p>Ter uma opinião crítica sobre o tipo de modelação 3D mais adequado a cada objeto ou peça componente, em função da sua aplicação.</p> <p>Optar pela impressão 3D sempre que esta apresentar uma vantagem relativamente às tecnologias de fabrico convencionais.</p>

RECURSOS EXTERNOS: computadores, ratos, teclados, Software Tinkercad (ferramenta CAD 3D disponível a partir de um explorador de internet)

3.1 Conceitos básicos de Fabrico Aditivo e Impressão 3D

A manufatura avançada (MA) é atualmente um dos pilares da chamada Indústria 4.0, numa alusão a uma quarta revolução industrial. A impressão 3D encontra-se entre as tecnologias de produção que caracterizam a manufatura avançada, a qual, em particular, está a revolucionar a forma como fabricamos objetos. A expressão “impressão 3D” inclui uma série de processos e tecnologias que abrangem uma vasta gama de soluções para o fabrico de peças e produtos a partir de materiais muito diversos.

A impressão 3D, cuja conseqüente produção em larga escala se designa como fabrico aditivo (FA) ou manufatura aditiva, caracteriza-se pelo recurso a tecnologias de desenho de suporte digital - CAD (*Computer Aided Design*) - para a produção de objetos por meio da adição de camadas sucessivas de material de acordo com o modelo (desenho) digital. Assim, a impressão 3D refere-se a qualquer processo de fabrico de objetos tridimensionais por meio da sobreposição do material constituinte em camadas, de dimensões de acordo com a informação do ficheiro digital CAD (ver imagem 1), o que significa que um modelo digital é transformado num objeto físico a 3 dimensões por meio da adição de material em camadas sucessivas.

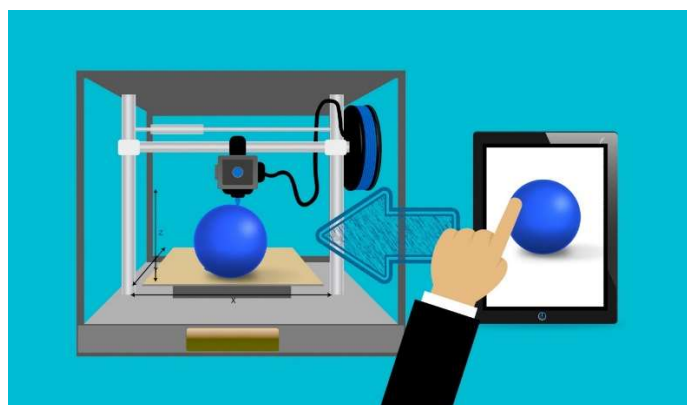


Figura 1 – Impressão de um objeto a partir de um ficheiro CAD

A manufatura avançada contrasta com os processos de manufatura tradicionais, sobretudo com os processos de manufatura subtrativa, em que as peças são fabricadas por meio da remoção (ou subtração) de material a partir de um bloco em bruto até à obtenção da forma final. As tecnologias de fabrico aditivo e impressão 3D são mesmo, cada vez mais, vistas como uma alternativa aos processos de maquinaria por controlo computacional (*CNC machining*), em que a ação e o funcionamento de máquinas de precisão são controlados por computador e tecnologias mais avançadas, como a moldagem por injeção (plásticos) e a moldagem por revestimento (*investment casting*).

- [!\[\]\(223f1a84e0bc2cacb9c165f716817dcc_img.jpg\) Moldagem por injeção – animação](#)
- [!\[\]\(c437123967ec19fa50ef7951237304ba_img.jpg\) Moldagem por revestimento – animação](#)

Por outro lado, as tecnologias de impressão 3D não apresentam requisitos especiais em termos de equipamento, como ferramentas especiais de corte de determinada geometria, ou moldes específicos. Em vez disso, as peças são manufaturadas camada a camada diretamente a partir de uma plataforma, o que constitui uma vantagem, muito embora apresente também algumas limitações.

A maioria dos processos de manufatura avançada considera a seguinte sequência de etapas:

1. Obtenção ou elaboração de um modelo tridimensional em CAD;
2. Decomposição do modelo 3D em camadas no plano bidimensional e geração do respetivo código de programação;
3. Impressão da primeira camada em 2D e suporte físico (se necessário);
4. Aumento da espessura da primeira camada por impressão;
5. Impressão da camada seguinte;
6. Repetição das etapas 4 e 5 até à impressão da última camada da peça;
7. Fase de acabamentos (se necessário).

[O que é a manufatura aditiva?](#)

O modo de funcionamento de uma impressora 3D varia consoante o tipo de processo utilizado. Por exemplo, algumas impressoras 3D fundem filamentos plásticos que são depois depositos sobre a plataforma por meio de uma agulha ou bocal (figura 2), à semelhança de uma pistola de cola de alta precisão controlada por computador. Outras, à semelhança de máquinas industriais de grande dimensão, utilizam um feixe laser para fundir (ou sinterizar) finas camadas de materiais em pó.



Figura 2 – impressão 3D de um componente polimérico

As peças resultantes da impressão 3D raramente estão prontas a utilizar, sendo necessária, na maioria dos casos, uma fase de acabamentos para a melhoria do aspeto final da peça. O pós-processamento tem normalmente como objetivo o alisamento ou polimento da superfície, o qual pode ser conseguido por via química (figura 3) ou por recurso a jacto de material decapante em leito de partículas sólidas a alta velocidade. O pós-processamento

pressupõe assim o prolongamento do tempo necessário à finalização da peça, envolvendo normalmente trabalho manual.



Figura 1 – Objetos impressos a 3D antes e depois da fase de acabamentos ou pós-processamento

Os materiais utilizados variam também com o processo. Embora predominem os plásticos (figura 4), outros materiais começam a adquirir relevância, como é o caso dos metais. As peças acabadas podem também ter propriedades físicas muito distintas, num leque muito variado, desde uma reduzida opacidade à aparência típica da borracha.

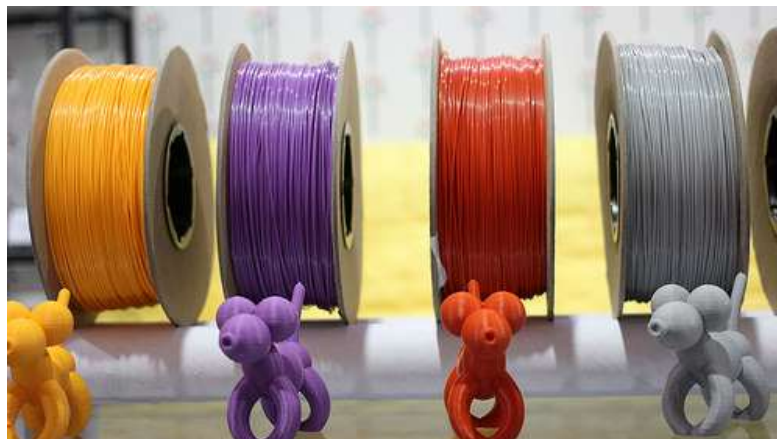


Figura 2 – Podem ser utilizados muitos materiais em processos de impressão 3D

Novas aplicações para objetos obtidos por impressão 3D aparecem quase diariamente, com a adoção crescente desta tecnologia ao nível dos processos industriais e dos serviços, em áreas tão diversas como a indústria aeroespacial, a indústria automóvel, energia, e fabricação de ferramentas, material médico e didático, entre outras (Figura 5).



Figura 3 – Componentes automóveis fabricados com tecnologias de manufatura avançada

A impressão 3D tem vindo a suprir necessidades de manufatura cada vez mais específicas. As expectativas inflacionadas dos anos recentes têm resultado numa utilização crescente desta tecnologia, que em muitos sectores passou a ser de utilização comum e convencional, tanto ao nível das atividades de manufatura profissional como de atividades de lazer.

A impressão 3D apresenta o potencial de criação de novas indústrias e profissões emergentes, como é o caso da produção de impressoras 3D e de peças para impressoras 3D. Há assim a oportunidade de surgimento de novos serviços profissionais relacionados com a impressão 3D, incluindo design de produtos, operadores de impressoras 3D, fornecedores de material e até mesmo funções relacionadas com questões de propriedade intelectual, como processos legais e jurídicos específicos à atividade.

A generalização da tecnologia de impressão 3D apresenta por isso potencial para afetar a economia global em maior ou menor escala, consoante o seu nível de adoção à escala mundial. A transição do modelo atual de produção e distribuição para formas de produção mais localizadas e baseadas numa procura mais específica e adaptada aos requisitos individuais de cada caso em particular poderá potencialmente reduzir as desigualdades resultantes do balanço entre países exportadores e importadores.

3.2 Fabrico Aditivo: processos, materiais e áreas de aplicação

3.2.1 Tipos de processos de fabrico aditivo

Existem muitos tipos de processos sob a designação comum de fabrico aditivo, com vantagens, potencialidades e áreas de aplicação distintas. A norma ISO/ASTM 52900:2015 estabelece e define quais os processos que se incluem sob a designação de fabrico aditivo, identificando 7 categorias individuais, muito embora a diversidade dentro de cada uma destas 7 categorias principais seja elevada. O princípio subjacente a todas elas - e que define em termos latos o conceito de fabrico aditivo - é a obtenção de objetos tridimensionais por meio da adição de camadas sucessivas de material, cada uma delas correspondendo a um plano de corte da geometria do objeto final.

A classificação genérica dos processos de fabrico aditivo em sete categorias principais assenta em diferenças ao nível dos materiais utilizados, dos métodos utilizados para a deposição do material e no tipo de aderência entre camadas de material. As sete categorias de processos de fabrico aditivo são apresentadas na figura 6.

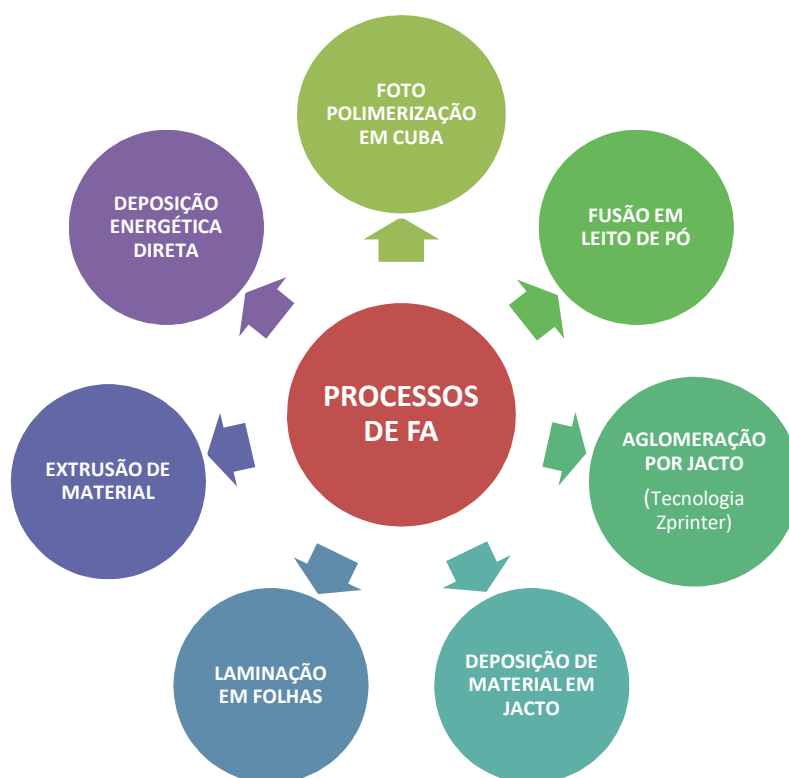
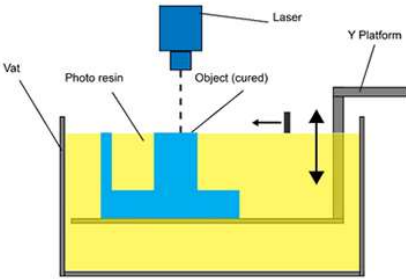
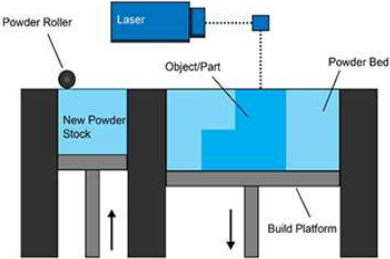


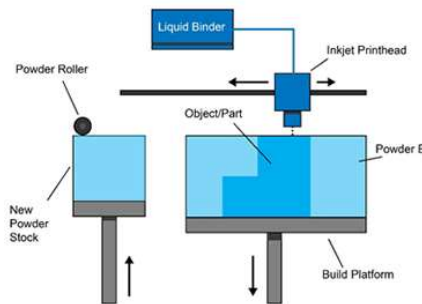
Figura 4 – Processos de FA disponíveis para o sector industrial

Partindo de um estágio inicial em que a impressão 3D dizia respeito à utilização de resinas e leitos de material pulverizado para o fabrico de protótipos, a inovação das últimas décadas tem-se focado sobretudo na utilização de novos materiais, como ligas metálicas e materiais cerâmicos para o fabrico integral de peças. A tabela 1 apresenta uma descrição pormenorizada dos principais processos de FA apresentados anteriormente. A tabela 1 inclui também os vários nomes alternativos por que são conhecidas as várias tecnologias (muitas delas marcas registadas).

Processo	Descrição	Vantagens	Desvantagens
<p>FOTOPOLIMERIZAÇÃO EM CUBA</p> <p>SLA™- Stereolithography Apparatus DLP™- Digital Light Processing 3SP™- Scan, Spin, and Selectively Photocure CLIP™ - Continuous Liquid Interface Production</p>  <p>Polimerização em cuba</p>	<p>A polimerização em cuba utiliza uma cuba de uma resina foto-polimérica em estado líquido, a partir da qual o modelo é obtido camada a camada. Uma luz ultravioleta é utilizada para a cura ou endurecimento da resina onde necessário, enquanto uma plataforma descendente desloca a peça para baixo assim que a cura da nova camada se completa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de rigor e complexidade • Bons resultados em termos da qualidade superficial da peça resultante (superfície lisa ou pouco rugosa) • Possibilidade de acomodação de grandes áreas de produção • Processo relativamente rápido 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente dispendioso • Elevado tempo requerido no pós-processamento e remoção final da resina • Limitações associadas ao uso de foto-resinas • Requer, geralmente, uma estrutura para suporte da peça e uma fase adicional de cura para obtenção de peças com estrutura forte
<p>FUSÃO EM LEITO DE PÓ</p> <p>SLS™- Selective Laser Sintering DMLS™- Direct Metal Laser Sintering SLM™- Selective Laser Melting EBM™- Electron Beam Melting SHS™- Selective Heat Sintering MJF™- Multi-Jet Fusion</p>  <p>Fusão em leito de pó</p>	<p>O material em pó é sinterizado (isto é, aquecido abaixo da temperatura de fusão) para permitir a agregação de material de diferentes camadas. O material em pó é (quase) fundido camada a camada de modo a alterar as características químicas e assim ajudar à agregação da camada subsequente. A peça é obtida por meio da consolidação das sucessivas camadas por recurso a fonte de calor, sob a forma de laser ou feixes de eletrões. Todos os processos de fusão em leito de pó envolvem a dispersão do material em pó sobre camadas anteriores. A nova camada é distribuída sobre a anterior por meio de rolos, antes da sua agregação pelo processo descrito. Uma plataforma desce o objeto à medida que as novas camadas vão sendo adicionadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nível de complexidade • O pó é utilizado como material de suporte • Gama alargada de materiais utilizados • Dependendo do material utilizado, é possível o fabrico de partes estruturais 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de processamento relativamente baixa • Limitações ao nível da dimensão admissível das peças • Elevado consumo de energia • A qualidade superficial da peça acabada depende muito da granulometria do material utilizado

AGLOMERAÇÃO POR JACTO

3DP™ - 3D Printing
ExOne
Voxeljet



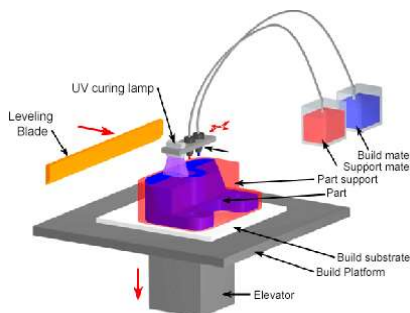
São utilizados um material e um aglomerante. O aglomerante atua como adesivo entre duas camadas de material em pó. A cabeça da impressora move-se horizontalmente e deposita alternadamente uma camada de material em pó (o constituinte material da peça) e de aglomerante. Após cada sequência a plataforma é descida para a repetição do processo. Após a fase de impressão as peças são normalmente aquecidas num forno.

- Permite a pintura com um leque variado de cores
- Processo rápido
- Utiliza uma vasta gama de materiais

- Nem sempre o mais adequado para peças estruturais, devido à utilização de aglomerante na constituição da peça.
- O pós-processamento que é necessário na maior parte dos casos pode aumentar significativamente a duração de todo o processo

DEPOSIÇÃO DE MATERIAL EM JACTO

Polyjet™
SCP™ - Smooth Curvatures Printing
MJM - Multi-Jet Modeling
Projet™



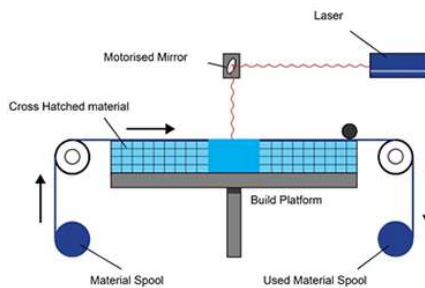
O material é injetado sob a forma de gotas sobre a plataforma de base onde o material solidifica, repetindo-se o processo para cada nova camada. As gotas de material depositado sobre a plataforma de trabalho são formadas por meio de uma espécie de agulheta que se move horizontalmente ao longo da plataforma de trabalho de modo a garantir a distribuição uniforme do material. As camadas de material assim formadas são posteriormente curadas por meio da utilização de luz ultravioleta.

- Elevado nível de rigor
- Permite a obtenção de peças de várias cores
- Permite a utilização de materiais diferentes na constituição / elaboração de uma mesma peça

- Normalmente requer a utilização de material de suporte
- Apesar do rigor atingido na geometria da peça, a utilização das peças finais é limitada

LAMINAÇÃO EM FOLHAS

LOM - Laminated Object Manufacture
 SDL - Selective Deposition Lamination
 UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing

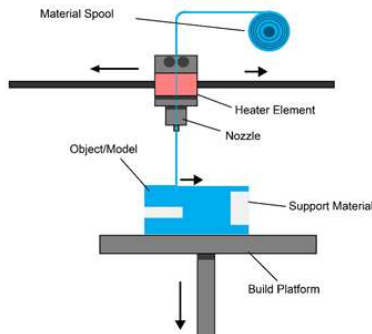



Lâminas de material são colocadas umas sobre as outras e laminadas conjuntamente na impressão do objeto. Para a ligação de materiais diferentes, podem ser utilizados materiais adesivos, métodos de ligação química (papel ou plástico), soldagem por ultrassons ou brasagem, no caso de metais. Zonas excedentes ou não necessárias são cortadas individualmente para cada camada e removidas depois de a peça final estar concluída.

- Elevadas taxas de produção por unidade de volume
- Custos reduzidos de produção, à exceção de quando são usados metais
- Permite a combinação de folhas de diferentes materiais metálicos, incluindo materiais embutidos
- A qualidade e o tipo de acabamento podem variar bastante consoante o tipo de material utilizado, mas normalmente requer uma fase de pós-processamento para se obter o nível de qualidade da superfície da peça desejado
- Limitações quanto aos materiais que podem ser utilizados pelo processo

EXTRUSÃO DE MATERIAL

FFF - Fused Filament Fabrication
 FDM™ - Fused Deposition Modeling



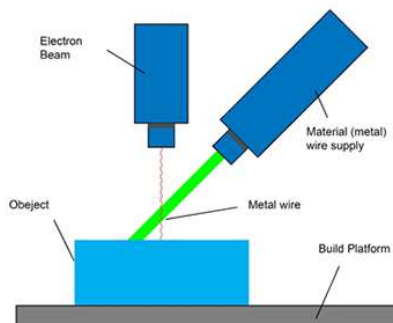
 [Extrusão de material](#)

O material é extrudido na forma de fio ou pequenas esferas, por meio de agulhetas ou orifícios onde é aquecido e, desta forma, combinado na forma de modelos de múltiplas camadas. Os processos mais comuns incluem a extrusão de termoplásticos (semelhante ao funcionamento de uma pistola de cola aquecida), assim como a distribuição de material por meio de um tipo de seringa. É um dos processos mais comuns no caso de impressoras domésticas utilizadas para a produção de objetos do dia-a-dia ou como hobby.

- Baixos custos de utilização
- Permite a obtenção de objetos de várias cores
- O equipamento pode ser utilizado em ambiente de trabalho (escritório)
- As peças resultantes apresentam boas qualidades estruturais
- A abertura do orifício por onde é dispensado o material limita a qualidade da peça final
- Menor exatidão (rigor do modelo tridimensional obtido) e mais lento, quando comparado com outros processos
- Requer a manutenção da pressão constante do material a extrudir, de modo a garantir a qualidade de acabamento final

DEPOSIÇÃO ENERGÉTICA DIRETA

LMD - Laser Metal Deposition
 LENS™ - Laser Engineered Net Shaping
 DMD™ - Direct Metal Deposition
 WAAM™ - Wire-arc Additive Manufacturing



[Deposição Energética Direta – Fabrico Aditivo em Metal](#)

Material na forma pulverizada ou em fio é depositado sobre a camada precedente que se encontra aquecida causando assim a fusão do novo material depositado. A fonte de calor utilizada para se atingir a temperatura necessária à fusão do novo material, que fica assim soldado ao material da camada precedente, pode incluir o laser, arco elétrico ou feixe de eletrões. Desta forma, ao contactar com a camada precedente que se encontra aquecida, o novo material adere ou fica soldado à medida que é depositado.

- Tecnologia não limitada pela direção (longitudinal ou axial) requerida para a construção do modelo, possibilitando também o fabrico de peças de grandes dimensões
- Método efetivo para a reparação de defeitos e adição de novos componentes à peça acabada
- Permite a utilização de diferentes materiais na constituição da peça final
- Tecnologia com a mais elevada taxa de deposição pontual (*single point deposition*).
- A qualidade do acabamento varia bastante, mas geralmente requer uma fase de pós-processamento como a maquinação ou outras técnicas de pós-tratamento da peça acabada

Tabela 1 – Descrição das principais tecnologias de FA (imagens obtidas em *lboro.ac.uk*)

3.2.2 Materiais utilizados em processos de fabrico aditivo

Os processos de fabrico aditivo e impressão 3D têm vindo a incluir cada vez maior diversidade de materiais utilizados na produção de peças por meio destas tecnologias. Para além da grande diversidade de materiais utilizados, estes apresentam-se ainda em formas muito diversificadas, designadamente em pó, filamentos, arames de ligas metálicas, *pellets*, granulado, resinas, etc. Adicionalmente, com o surgimento de aplicações mais específicas, outros materiais têm vindo a ser desenvolvidos, de modo a disporem das características e propriedades que mais se adequam à aplicação e processo em causa. Por outro lado, cada processo de impressão 3D apresenta requisitos específicos em termos do material a utilizar ou funciona apenas com determinados materiais. De qualquer forma, os plásticos (incluindo tanto termoplásticos como plásticos termo-endurecíveis) e os metais são de longe os materiais mais utilizados, logo seguidos pelos materiais cerâmicos (figura 7).

FOTO POLIMERIZAÇÃO EM CUBA	<ul style="list-style-type: none"> Resinas fotopoliméricas curadas com radiação UV (vários enchimentos possíveis)
FUSÃO EM LEITO DE PÓ	<ul style="list-style-type: none"> Plásticos, metais e materiais cerâmicos em pó, e areia
AGLOMERAÇÃO POR JACTO	<ul style="list-style-type: none"> Plástico em pó, metal, materiais cerâmicos, vidro e areia
DEPOSIÇÃO DE MATERIAL EM JACTO	<ul style="list-style-type: none"> Fotopolímeros, polímeros e ceras
LAMINAÇÃO EM FOLHAS	<ul style="list-style-type: none"> Papel, folhas plásticas e películas metálicas
EXTRUSÃO DE MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> Filamentos e <i>pellets</i> de termoplásticos, líquidos e lamas (dispensadas por meio de seringas)
DEPOSIÇÃO ENERGÉTICA DIRETA	<ul style="list-style-type: none"> Fios metálicos, metal em pó (limalha) e cerâmicas

Figura 7 – Materiais tipicamente utilizados em processos de fabrico aditivo

Os principais polímeros e metais utilizados pelas tecnologias de impressão 3D são apresentados com mais detalhe, a seguir, na Tabela 2.

[▶ Materiais da manufatura aditiva - O maior desafio da tecnologia de impressão 3D](#)



Tipo de material	Descrição
<p>POLÍMEROS</p> 	<p>Os plásticos comuns podem ser usados na impressão 3D, incluindo o ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) e o PC (policarbonato). Para além destes, podem ainda ser usadas misturas (em pó) de diferentes polímeros, bem como ceras e resinas de base epóxi (ou poliepóxido). Por outro lado, a mistura e a combinação de diferentes materiais permite obter uma vasta gama de propriedades estruturais e de natureza estética. Os polímeros mais comuns são o ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), a Polilactida ou PLA (plástico de poliácido láctico), incluindo a variante "PLA soft", o Policarbonato (PC) e as Poliamidas (nylons), de entre as quais se destacam o nylon 12 (com uma resistência à tração de 45 MPa), fibra de vidro reforçada com nylon (resistência à tração de 12,48 MPa) e resinas epóxi e fotopoliméricas.</p>
<p>METAIS</p> 	<p>Um cada vez maior número de metais e materiais compósitos é utilizado em processos de impressão 3D à escala industrial. Muitos metais podem ser utilizados, incluindo para a produção de componentes estruturais e integrais. Os mais comuns incluem o aço inoxidável (resistência à tração de 1150 MPa), aço <i>maraging</i> (liga muito rica em níquel e baixo teor em carbono e uma resistência à tração da ordem dos 1100 MPa), ligas de titânio Ti₆Al₄V (resistência à tração de cerca de 1150 MPa), ligas de cobalto e crómio Co₂₈Cr₆Mo (resistência à tração de 1300 MPa), liga de alumínio AlSi₁₀Mg (resistência à tração de 445 MPa), prata e ouro.</p>

Tabela 2 – Materiais mais utilizados em processos de impressão 3D

3.2.3 Áreas de aplicação do fabrico aditivo

Aquando do seu surgimento, ninguém pensou que a tecnologia de fabrico aditivo pudesse vir a revolucionar a indústria da forma que se veio a verificar. Tendo o seu início em processos cujo principal objetivo era a produção mais rápida de protótipos, a tecnologia desenvolveu-se muito para além da prototipagem, apresentando vantagens ao nível da redução de material utilizado, menores custos globais e, sobretudo, a obtenção de processos muito mais céleres, em diversos sectores de atividade.

Os avanços na tecnologia de impressão 3D têm resultado no aumento significativo da utilização desta tecnologia por um grande número de empresas e sectores. É um processo eficiente e altamente adaptável às necessidades específicas de cada objeto ou função pretendidos, o que lhe confere um elevado potencial de utilização numa vasta gama de indústrias e sectores. As aplicações e papel desempenhado no processo geral variam conforme a indústria, sendo por isso uma tecnologia cada vez mais utilizada (figura 8).



Figura 5 – Setores e indústrias onde as tecnologias de FA têm vindo a ser adotadas.

Nos parágrafos seguintes descrevem-se algumas das áreas onde as tecnologias de MA mais têm vindo a ser adotadas com maior sucesso.




Aeronáutica e Defesa

Empresas da indústria aeronáutica e da defesa foram das primeiras a adotar processos de fabrico aditivo. Nestas indústrias, as exigências em termos de níveis de desempenho são muito elevadas, dada a necessidade de as peças e componentes funcionarem sob condições particularmente exigentes e difíceis.

Os engenheiros responsáveis pelo design e produção de material aeronáutico para a indústria comercial e de defesa precisam de materiais que resistam às condições de operação mais exigentes e, para isso, precisam de materiais de alto desempenho. A impressão 3D permite o fabrico de peças consolidadas de nível elevado de complexidade e excelentes propriedades estruturais e de resistência às condições químicas e físicas mais extremas. A utilização de menores quantidades de material e a possibilidade de obtenção de peças únicas (por oposição a peças resultantes da junção de diferentes componentes) resultam também na redução considerável do peso das peças, o que é algo particularmente valioso na indústria da aeronáutica.

Os benefícios que o fabrico aditivo tem trazido para algumas das maiores empresas de aeronáutica comercial e do sector da defesa têm impulsionado a investigação em novas soluções de forma (design) e aplicações nesta área. A impressão 3D no sector da aeronáutica não se limita ao fabrico de protótipos. Peças reais e funcionais estão atualmente a ser produzidas por impressão 3D e utilizadas em aeronaves. Alguns exemplos de peças que já podem ser fabricadas por impressão 3D incluem tubos de passagem do ar (SLS), painéis de parede e mesmo peças estruturais em metal, como turbinas, motores, asas, fuselagem e peças sobressalentes.

 [Manufatura Aditiva na Aeronáutica e Defesa: A inovação na forma como as peças são obtidas](#)



Indústria automóvel e de transportes

A vida a alta velocidade requer resistência a ambientes extremos, resultantes de velocidades elevadas de funcionamento e correspondente calor gerado. A indústria dos transportes necessita de peças que resistam e tenham um bom desempenho sob estas condições, ao mesmo tempo que sejam o menos pesadas possível, de modo a diminuir o atrito e as forças de inércia. Compreendendo um vasto leque de materiais rugosos e termorresistentes, bem como geometrias complexas, a indústria automóvel e de transportes está ainda a começar a explorar as vastas potencialidades que as tecnologias de manufatura aditiva poderão trazer aos seus materiais e peças finais.

Algumas das inovações que já começaram a revolucionar esta área incluem geometrias complexas de tubos de ar que não são possíveis de obter pelos métodos convencionais, protótipos resilientes, modelos elastoméricos, grelhas, peças de interior personalizáveis, assim como painéis de grandes dimensões, componentes de chassis, ligas de moldagem, gabaritos (*esqueleto* estrutural do automóvel), acessórios de fixação e de engrenagem e ligação de componentes.

Uma das potencialidades mais interessantes e promissoras é, contudo, a possibilidade de fabrico de peças já não comercializadas, em particular no que se refere ao restauro de carros antigos e clássicos. Embora a prototipagem permaneça ainda o uso mais generalizado da impressão 3D na indústria automóvel, cada vez mais empresas exploram outras possibilidades como o fabrico de peças comercializáveis. Outras utilizações da impressão 3D, designadamente em soluções de fim-de-vida de peças e componentes, são outra área promissora neste sector.



Saúde (medicina geral e dentária)

A indústria da saúde encontra-se em acelerado desenvolvimento tecnológico, e também aqui os processos de manufatura avançada têm tido um papel fundamental. As novas soluções proporcionadas pelas tecnologias de manufatura aditiva revolucionaram a inovação nesta área.

A impressão tornou possível o fabrico de materiais mais resistentes e biocompatíveis, de entre uma vasta gama de materiais disponíveis e cujas propriedades variam de entre os mais rígidos aos mais flexíveis, totalmente opacos ou transparentes. Para além disso, o potencial de adaptação da forma e desempenho estrutural das peças finais às necessidades específicas de cada

indivíduo ou tratamento é único e sem precedentes. Desde o fabrico de protótipos funcionais e modelos anatómicos idênticos ao real que são depois usados em ensaios cirúrgicos, ao design de novas ferramentas cirúrgicas obedecendo às exigentes especificações do material utilizado em cirurgia, a manufatura aditiva tem vindo a revolucionar a inovação em soluções tecnológicas para a melhoria da qualidade de vida e mesmo da cura de situações até aqui difíceis de tratar. A panóplia de novos equipamentos melhorados é enorme, desde o fabrico de dispositivos para implantes ortopédicos, material ortodôntico, modelos para uso em testes cirúrgicos obtido a partir de ecografia e outras ferramentas de imagiologia (como a radiografia) para a reprodução fiel da anatomia do doente, modelação de brocas e serras personalizadas, entre outras ferramentas cirúrgicas especializadas.

Atualmente, o sector da saúde e medicina dentária representa cerca de 11% do mercado total de produtos de manufatura aditiva fabricados. A grande vantagem apresentada pela tecnologia neste sector em específico reside na possibilidade de fabrico de ferramentas e equipamentos específicos para a anatomia e processo em causa, permitindo um tratamento customizado a cada indivíduo, em particular no que se refere ao material necessário aos testes pré-cirúrgicos, implantes e equipamentos de ortodontia.



[Impressão de metais a 3D para uso na área da saúde](#)



Sector energético

O sucesso neste sector depende sobretudo da capacidade de fabrico de materiais específicos para a função a que se destinam e que ao mesmo tempo possam resistir a condições ambientais extremas. Os avanços permitidos pelas tecnologias de manufatura aditiva, em particular no que se refere ao fabrico de materiais com elevado desempenho, leves e amigos do ambiente, têm permitido responder a muitas destas exigências. Alguns dos casos de sucesso da tecnologia de impressão 3D no que se refere ao sector energético incluem novas formas e componentes de turbinas, rotores, estatores, bocais, componentes e modelos de ferramentas de fundo de poço, equipamentos para medição de caudal, válvulas de controlo de fluxo, bombas de diversos tipos, motores resistentes à lama e outros detritos, equipamentos para medição da pressão e componentes de plataformas flutuantes, entre muitos outros.

Por outro lado, o desenvolvimento de materiais metálicos resistentes à corrosão para peças utilizadas em meio aquático ou noutros meios igualmente agressivos e exigentes (sobretudo no que se refere aos metais), por meio de processos de manufatura aditiva, veio alargar consideravelmente as potencialidades de desenvolvimento desta indústria em termos de soluções até aqui consideradas impossíveis.



Maquinação e instrumentação industrial

Este setor inclui a produção de componentes de máquinas e equipamento de utilização na indústria transformadora. Com custos de produção cada vez mais elevados, dada a necessidade em investimento constante em inovação e tecnologia de ponta como condição necessária ao aumento da eficiência de processos, os industriais estão cada vez mais a adotar as tecnologias de impressão 3D para se manterem competitivos.

O surgimento de novos materiais fabricados por meio da impressão 3D, com elevada resistência ao calor, e a enorme versatilidade apresentada por esta tecnologia em termos da produção rápida e a baixo custo de novas peças cuja geometria mais se adequa ao fim em causa, tem sido um fator determinante para este sector.

A produção de novas ferramentas de apoio à atividade industrial, como gabaritos de montagem, medidores de caudal ou pressão, guias, acessórios de fixação, peças suplentes, entre outros, abriu toda uma nova gama de possibilidades de fabrico ao nível da maquinação e instrumentação industrial.

Para além do fabrico de novas peças, a impressão 3D tem revolucionado o sector também ao nível do fabrico de moldes utilizados na moldagem por injeção e fundição.

A possibilidade de recorrer a novas tecnologias de manufatura aditiva como DMLS™ (Direct Metal Laser Sintering) ou SLM™ (Selective Laser Melting), de entre as possibilidades da tecnologia de fusão em leito de pó (ver Tabela 1) em substituição de métodos mais convencionais, permite a redução do desperdícios em termos da matéria-prima utilizada, assim como a melhoria do desempenho dos moldes e conseqüente redução de defeitos de fabrico. Os melhores resultados permitidos por estas novas tecnologias devem-se sobretudo à integração de canais de arrefecimento de geometria complexa mais eficiente, permitindo melhorias consideráveis nas características relativas ao arrefecimento dos moldes.



[Impressão 3D em linhas de maquinação e instrumentação industrial](#)



Bens de consumo

Para os designers, artistas gráficos e equipas de marketing, o tempo que decorre entre o nascimento de uma ideia nova e a sua comercialização no mercado sob a forma de um novo produto é absolutamente crítico. A maior parte desse tempo é gasto no desenvolvimento de protótipos diferentes que exploram e testam diferentes opções ao nível do aspeto final do produto, que serão depois apresentados a potenciais clientes ou outros intervenientes da cadeia de produção. Não admira por isso que os fabricantes de bens de consumo tenham aderido rapidamente às tecnologias de impressão 3D, as quais permitem o desenvolvimento e ajustamento de novos modelos e ideias de forma muito mais rápida.

A impressão 3D apresenta inúmeras vantagens ao nível do fabrico de peças de grande detalhe (como componentes eletrónicas, por exemplo) numa fase

avançada do processo, ao mesmo tempo que permite aliar melhorias estéticas e desempenho funcional das peças ao longo do processo de conceção do novo produto.

A indústria de fabrico de artigos de desporto tem beneficiado em particular com as novas tecnologias de impressão 3D, dada a rápida interação possível entre o desenho de novos modelos e o teste do seu desempenho.

Outras aplicações de sucesso desta tecnologia incluem os equipamentos de suporte e adereços na área do entretenimento, sobretudo no que se refere a modelos e cenários de reduzido peso e a detalhes arquiteturais até aqui não possíveis. À medida que as potencialidades da tecnologia de impressão em 3D avançam em termos da velocidade e volumes de produção alcançáveis, outras indústrias de produção de bens de consumo poderão voltar-se para formas de manufatura avançada, em face do crescimento da procura e da necessidade de produção em cada vez maior escala.

Em comparação com indústrias pioneiras da adoção de processos de manufatura avançada, como a indústria da aeronáutica e defesa ou dos cuidados médicos, a utilização de tecnologias de impressão 3D pela indústria de produção de bens de consumo está ainda na sua fase inicial. Contudo, os benefícios em termos da possibilidade de customização de peças para fins específicos, menores tempos entre a conceção de um novo produto, a fase de testes e a sua comercialização são cada vez mais reconhecidos neste setor. Para além destes, a nova tecnologia apresenta ainda inúmeras vantagens em termos das possibilidades (menores constrangimentos) para as indústrias criativas, como é o caso da joalheria, arquitetura e entretenimento (equipamentos cénicos), onde a complexidade e exclusividade dos objetos é grandemente valorizada. Dobradiças interativas, peças comunicantes, objetos de finíssima espessura e interior vazio (oco) são possíveis por meio de impressão 3D, a qual permite ainda novas soluções de acabamentos para peças metálicas para um efeito visual sem precedentes.



[Aplicações futuras do FA](#)

3.3 Software 3D necessário à Impressão 3D

Cada uma das etapas do processo de impressão 3D - desde o ficheiro CAD até à impressão final do objeto - requer um software específico (ver figura 9).



Figura 9 – Processo de impressão 3D e software associado a cada etapa

O processo de impressão 3D considera geralmente quatro tipos principais de software, que são utilizados sequencialmente conforme a etapa do processo:

- **Software de projeto em CAD do modelo em 3D**

O software CAD é uma ferramenta vital para arquitetos, engenheiros de projeto, animadores e designers gráficos. O modelo em formato CAD inclui informação relativa às propriedades do material, dimensões e respetiva tolerância de variação, assim como informação adicional relativa ao processo de manufatura. Para além disso, muitas aplicações em CAD dispõem de capacidades avançadas de interpretação e animação de geometrias, de modo a facilitar ao utilizador a visualização do objeto/projeto em construção. Em particular, estas novas funcionalidades possibilitam a integração posterior com o software de impressão na fase subsequente do processo, o que significa que o software original (em CAD) inclui já as instruções para a impressão do modelo em 3D. Na maior parte dos casos isto processa-se por meio da gravação do modelo CAD em formato STL (acrónimo para estereolitografia ou, em inglês, "*Standard Triangle Language*"). Idealmente, o software utilizado deverá permitir o melhor compromisso entre as funcionalidades disponíveis, a simplicidade de utilização e o preço.

- **Software STL - para visualização, edição e reparação de ficheiros STL (.stl)**

O formato STL é o standard utilizado em impressão 3D já que pode ser interpretado por todas as impressoras 3D. Recorre à técnica de triangulação para a representação de superfícies internas e externas do objeto sólido a 3 dimensões. Contudo, a informação contida num ficheiro STL não pode ser automaticamente convertida numa impressão, uma vez que pequenos defeitos ou erros no código poderão resultar em falhas e desvios graves na peça final. A maioria destes erros ou falhas diz respeito a falhas na malha do material a ser aglomerado, não concordância entre o objeto 3D e a sua projeção no plano (*non-manifold geometry*) e a não sobreposição de camadas, resultando assim em superfícies soltas e erros na espessura das *paredes* do objeto. Por outro lado, ficheiros demasiado pesados podem também resultar em erros de impressão por dificuldade da sua leitura e interpretação pela impressora à velocidade necessária.

É por isso normalmente necessário recorrer a ferramentas de reparação de ficheiros STL, os quais permitem a identificação e correção atempada dos erros antes da sua conversão em instruções de impressão.

- **Software de “fatiamento” (*slicer software*)** - este tipo de programas transforma o modelo 3D inicial nas múltiplas (centenas ou milhares de) fatias ou camadas bidimensionais que o compõem (cortes normais ao eixo vertical), ao mesmo tempo que inclui instruções sobre como imprimir cada camada individualmente.

Através do processo de fatiamento o modelo a 3 dimensões é decomposto nos cortes bidimensionais da sua geometria que correspondem às camadas que a impressora vai depois adicionar sequencialmente ou em pilha. O número de camadas (ou planos) depende do modelo e do tipo de impressora utilizada. Adicionalmente, o processo de fatiamento pode incluir instruções relativas à adição de material de suporte (temporário) de camadas de maiores dimensões que a camada ou camadas precedentes, de modo a evitar que a camada "*mais larga*" fica em suspenso. As informações relativas a estas secções de material de suporte poderão já vir incluídas no código do programa de fatiamento ou, em alternativa, o material de suporte ser adicionado manualmente pelo utilizador. Para além da informação relativa ao fatiamento do modelo 3D em camadas, o software de fatiamento pode ainda incluir instruções relativas à posição do material a ser depositado na plataforma de trabalho (isto é, por meio de um sistema de coordenadas em que a plataforma de trabalho é o plano coordenado ou cartesiano).

Funcionalidades adicionais incluem a possibilidade de redimensionamento por alteração de escala e a escolha da resolução do processo de impressão, assim como o ajuste da temperatura e da velocidade da cabeça de impressão. O processo de fatiamento resulta num ficheiro em código G pronto a ser utilizado pela impressora no processo (aditivo) de impressão propriamente dito.

- **Programa de impressão 3D próprio de cada impressora** - processa a integração entre o computador e a impressora 3D e assegura a comunicação entre os dois equipamentos. Permite ainda monitorizar o processo de impressão a alterar configurações em tempo real.

A Tabela 3 apresenta a lista do software de impressão 3D disponível gratuitamente (para formandos, formadores e projetos de código aberto ou partilhado).

Software	Função	Nível	Sistema Operativo	Website
3D Builder	Desenho do modelo	Iniciado	Windows	3D Builder
3D Slash	Desenho do modelo	Iniciado	Browser	3D Slash
Blender	Desenho do modelo	Profissional	Windows, Mac, Linux	Blender

Software	Função	Nível	Sistema Operativo	Website
Figuro	Desenho do modelo	Médio	Browser	Figuro
FreeCAD	Desenho do modelo	Médio	Windows, Mac, Linux	FreeCAD
Fusion 360	Desenho do modelo	Médio	Windows, Mac	Fusion 360
OnShape	Desenho do modelo	Profissional	Browser	OnShape
OpenSCAD	Desenho do modelo	Médio	Windows, Mac, Linux	OpenSCAD
Sculptris	Desenho do modelo	Iniciado	Windows, Mac	Sculptris
SketchUp Free	Desenho do modelo	Médio	Browser	SketchUp
TinkerCAD	Desenho do modelo	Iniciado	Browser	TinkerCAD
Vectary	Desenho do modelo	Médio	Browser	Vectary
3D-Tool Free Viewer	Análise STL	Médio	Windows	3d-Tool Viewer
MakePrintable	Edição e reparação STL	Médio	Browser	MakePrintable
MeshLab	Edição e reparação STL	Profissional	Windows, Mac, Linux	MeshLab
Meshmixer	Edição e reparação STL	Médio	Windows, Mac	Meshmixer
3DPrinterOS	Edição e reparação STL, Fatiamento e código de impressão para a impressora	Iniciado	Windows, Mac, Ubuntu, Raspberry Pi	3DPrinterOS
Netfabb	Reparação STL e Fatiamento	Profissional	Windows	Netfabb
KISSlicer	Fatiamento	Médio	Windows, Mac, Linux	KISSlicer
Slic3r	Fatiamento	Médio	Windows, Mac, Linux	Slic3r
SliceCrafter	Fatiamento	Médio	Browser	SliceCrafter
AstroPrint	Fatiamento e código de impressão para a impressora	Iniciado	Browser	AstroPrint
Cura	Fatiamento e código de impressão para a impressora	Iniciado	Windows, Mac, Linux	Cura
OctoPrint	Fatiamento e código de impressão para a impressora	Médio	Windows, Mac, Linux, Raspbian (como imagem OctoPi)	OctoPrint
Repetier-Host	Fatiamento e código de impressão para a impressora	Médio	Windows, Mac, Linux	Repetier

Software	Função	Nível	Sistema Operativo	Website
MatterControl 2.0	Fatiamento e código de impressão para a impressora e Desenho do modelo	Iniciado	Windows, Mac, Linux	MatterControl
IceSL	Fatiamento e desenho do modelo	Médio	Windows, Linux	IceSL

Tabela 3 – Software de impressão 3D (fonte: all3dp.com).

 [Workshop de modelação e impressão 3D](#)

3.4 Vantagens e desvantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D na Indústria 4.0

O potencial das novas tecnologias de FA e impressão 3D é (ainda) incalculável. É uma tecnologia que está a mudar o mundo tal como o conhecemos. O número de aplicações destas tecnologias cresce de dia para dia e o pleno potencial da sua utilização está ainda por explorar. Contudo, apesar das inúmeras vantagens e potencialidades apresentadas pelas tecnologias de fabrico aditivo e impressão 3D já aqui apresentadas, tratando-se de uma tecnologia recente e ainda em desenvolvimento, apresenta naturalmente algumas limitações e mesmo desvantagens relativamente a outras soluções convencionais.

3.4.1 Vantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D

Face às muitas vantagens que apresentam relativamente aos processos de manufatura convencional, os processos de manufatura aditiva têm recebido atenção e interesse crescentes nas duas últimas décadas. Estas vantagens centram-se sobretudo no impacto sobre a vida útil dos produtos, não só ao nível da fase de conceção, fabrico e comercialização dos produtos, mas também no que diz respeito ao seu fim-de-vida. Os processos de manufatura aditiva contrastam com os processos de fabrico tradicionais, sobretudo no que diz respeito à necessidade de utilização de diferentes ferramentas e utensílios em diferentes fases do processo, e ao princípio subjacente a estes últimos, em que uma peça é o resultado da delapidação de material a partir de um bloco inicial até à obtenção da geometria final pretendida. Por esta razão, a manufatura aditiva começa a ser encarada como uma alternativa viável sobretudo em processos que utilizam maquinaria controlada por computador, moldagem por injeção ou moldagem por métodos tradicionais de fundição.



Figura 6 – Principais vantagens dos processos de manufatura aditiva e impressão 3D

Algumas das muitas vantagens apresentadas pelos processos de manufatura aditiva incluem (figura 10):

- **Maior liberdade ao nível da conceção do produto** - os processos de manufatura aditiva tornam possível a obtenção de geometrias complexas, até aqui muito difíceis de obter por meio dos métodos convencionais de manufatura. Por outro lado, as

inúmeras possibilidades em termos da obtenção de geometrias complexas de uma forma integrada, no que diz respeito à complexidade associada aos vazios no interior das peças, canais de ligação e estruturas internas de sustentação, resultam adicionalmente na redução de material utilizado e em formas mais eficientes de utilização do material, assim como em peças mais leves, requerendo menos material.

- **Redução em matéria-prima** - as menores necessidades de matéria-prima possibilitam, em muitos casos, um melhor desempenho das peças (não só por serem mais leves, mas também por poderem atingir os mesmos níveis de resistência estrutural com menos material usado) e tornam todo o processo mais sustentável, reduzindo ao mínimo o desperdício e os resíduos.
- **Menores necessidades em ferramentas e maquinaria especializada** - os processos de manufatura avançada caracterizam-se por uma customização em massa, sem necessidade de múltiplas ferramentas especializadas, como moldes, estruturas de pintura, etc., uma vez que o equipamento necessário ao trabalho adicional ao da impressão (e normalmente associado ao pós-processamento) é mínimo.
- **Redução de custos** - a redução de custos associada aos processos de manufatura aditiva, quando comparada com as tecnologias convencionais, resulta, não só, de uma menor necessidade em maquinaria e menores gastos em matéria-prima, mas também de gastos que são evitados ao longo do processo, dada a menor necessidade em fases (subsequentes) de teste e da maior facilidade em obter protótipos adaptáveis que podem ser apresentados ao cliente muito mais cedo do que os atuais processos de design, marketing, produção e venda permitem.
- **Menor duração do processo de produção** - Uma das principais vantagens das tecnologias de fabrico aditivo é a redução do tempo necessário à produção de uma peça final. A redução do tempo do processo completo (desde a conceção ao fabrico e comercialização) resulta sobretudo da redução considerável dos tempos de teste e de afinação do produto, sobretudo no que respeita a tempos de espera decorrentes, na cadeia tradicional de produção, da dependência de outros intervenientes, como fornecedores de serviços e matérias-primas. Por outro lado, a centralização de toda a informação em computador, tornando-a editável, e uma menor necessidade em maquinaria, redes de montagem e ferramentas diversas, são fatores que contribuem igualmente para a redução da duração de todo o processo de produção. Do modelo digital em CAD à produção, num só passo. Sem necessidade de maquinaria e utilização de ferramentas.

- **Reparação e remanufactura** - os processos de manufatura aditiva e impressão 3D possibilitam o fabrico de peças já obsoletas no mercado que, por isso, não se encontram disponíveis, e conseqüentemente o prolongamento da vida útil de peças e equipamentos que, de outra forma, teriam de ser desmantelados e/ou substituídos.

[Vantagens da manufatura aditiva](#)

3.4.2 Desvantagens do fabrico aditivo e da impressão 3D

Apesar do grande potencial demonstrado pelas tecnologias de manufatura aditiva, sendo uma tecnologia relativamente nova e ainda numa fase inicial do seu desenvolvimento, apresenta ainda áreas em que pode melhorar muito, as quais deverão ser tidas em conta quando equacionada a sua adoção. Por esta razão, a manufatura aditiva poderá nem sempre ser a opção mais adequada. As impressoras 3D podem apresentar ainda um nível de risco para a saúde humana (toxicidade e risco de acidente) elevados, bem como conduzir a gastos desnecessários. Para além disso, estão ainda por avaliar na sua completude os impactos ao nível da economia, política e meio ambiente.



Figura 7 – Limitações dos processos de manufatura aditiva e impressão 3D

Assim, algumas desvantagens apresentadas pelas tecnologias de manufatura aditiva e impressão 3D são as seguintes (figura 11):

- **Elevado consumo energético** - de acordo com alguns estudos de investigação, as impressões 3D caracterizam-se por um consumo energético muito mais elevado do que o da maquinaria tradicional (maior intensidade energética associada), pelo que, do ponto de vista energético, a impressão 3D se adequará mais a produções em pequena escala.
- **Tecnologia dispendiosa** - o equipamento e os materiais utilizados em processos de manufatura aditiva são ainda muito caros, em particular no que se refere ao uso de

metais. Contudo, trata-se de custos que se reduzirão de dia para dia por efeito da expansão da tecnologia.

- **Reduzido número de materiais utilizáveis** - muito embora a impressão 3D constitua uma revolução tecnológica considerável, os materiais que poderão ser utilizados por esta via são ainda muito limitados. Não obstante, novos materiais e ligas estão a surgir e a ser desenvolvidos a cada dia que passa, para utilização por sectores industriais muito diferentes.
- **Tecnologia não adequada à produção em grande escala** - os processos de manufatura aditiva são ainda mais indicados para a produção individual ou a pequena e/ou média escala. De qualquer forma, a utilização das tecnologias de manufatura avançada em linhas de produção a nível industrial começa a ser testada ao nível de instalações piloto, no sentido da sua adoção para a produção de bens em massa.
- **Limitações ao nível do tamanho das peças** - o tamanho das peças está limitado pelas dimensões da câmara de impressão. A única exceção diz respeito a casos em que a produção recorre ao uso de manipuladores, como robots, que permitem o fabrico de peças de maiores dimensões.
- **Perda de postos de trabalho** - nos processos de manufatura avançada é possível obter modelos e protótipos em poucas horas, uma vez que ambos pressupõem o mesmo equipamento e podem ser conseguidos numa só etapa do processo. Este facto resulta necessariamente na eliminação de inúmeras etapas do processo de fabrico convencional, as quais correspondem a diferentes postos de trabalho/profissões. Neste sentido, a manufatura avançada pode levar à redução de postos de trabalho na indústria transformadora. Não obstante, sendo nova tecnologia, requer novas qualificações e valências, pelo que requer pessoas com treino específico que saibam utilizar a tecnologia.

Outras limitações que são identificadas para esta tecnologia incluem uma menor qualidade ao nível do acabamento superficial das peças, emissões tóxicas e demais riscos para a saúde dos utilizadores, bem como a inexistência de normalização (*standards*). Como tecnologia emergente, a manufatura avançada apresenta ainda inúmeros aspetos em que precisa de ser melhorada de modo a poder ser utilizado o seu potencial máximo.

Referências

3D Hubs. (2018). *What is 3D printing? The definitive guide* | 3D Hubs. [online] Disponível em: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing> [acedido a 29 de junho de 2019].

3D Printing Industry. (2019). *The Free Beginner's Guide - 3D Printing Industry*. [online] Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#01-basics> [acedido a 29 de junho de 2019].

3Dnatives. (2019). *Additive Manufacturing: Applications by sector - 3Dnatives*. [online] Disponível em: <https://www.3dnatives.com/en/applications-by-sector/> [acedido a 29 de junho de 2019].

All3DP. (2019). *Best 3D Printing Software Tools in 2019 (All Are Free)* | All3DP. [online] Disponível em: <https://all3dp.com/1/best-free-3d-printing-software-3d-printer-program/> [acedido a 29 de junho de 2019].

AMFG. (2019). *Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide - AMFG*. [online] Disponível em: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide> [acedido a 29 de junho de 2019].

Bangera, J. (2016). *The Ultimate Guide to 3D Printing and 3D Printers - Inkjet Wholesale Blog*. [online] Inkjet Wholesale Blog. Disponível em: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/featured/comprehensive-guide-3d-printing-3d-printers/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Bangera, J. (2016). *What Are The Advantages Of 3D Printing? - Inkjet Wholesale Blog*. [online] Inkjet Wholesale Blog. Disponível em: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/3d-printing/advantages-3d-printing/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Bangera, J. (2016). *What Are The Disadvantages Of 3D Printing? - Inkjet Wholesale Blog*. [online] Inkjet Wholesale Blog. Disponível em: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/3d-printing/disadvantages-3d-printing/> [acedido a 29 de junho de 2019].

GE Additive. (2019). *What is Additive Manufacturing?*. [online] Disponível em: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing> [acedido a 29 de junho de 2019].

GE Additive. (2019). *Additive Manufacturing Processes*. [online] Disponível em: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/additive-manufacturing-processes> [acedido a 29 de junho de 2019].

Hybrid Manufacturing Technologies. (2019). *Hybrid Manufacturing Resources*. [online] Disponível em: <http://www.hybridmanutech.com/resources.html> [acedido a 29 de junho de 2019].

Koslow, T. (2017). *Additive Manufacturing Technologies: Introduction & Overview* | All3DP. [online] All3DP. Disponível em: <https://all3dp.com/1/additive-manufacturing-technologies-guide/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Lboro.ac.uk. (2019). *Materials* | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Disponível em: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/materials/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Lboro.ac.uk. (2019). *The 7 categories of Additive Manufacturing* | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Disponível em: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Pearson, A. (2018). *10 Advantages of 3D Printing*. [online] 3D Insider. Disponível em: <https://3dinsider.com/3d-printing-advantages/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Pearson, A. (2018). *10 Disadvantages of 3D Printing Technology*. [online] 3D Insider. Disponível em: <https://3dinsider.com/3d-printing-disadvantages/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Renishaw. (2019). *Renishaw: Industries*. [online] Disponível em: <https://www.renishaw.com/en/industrial-applications-of-renishaw-metal-additive-manufacturing-technology--15256> [acedido a 29 de junho de 2019].

Silbernagel, C. (2018). *Additive Manufacturing 101: What is it? - Canada Makes*. [online] Canada Makes. Disponível em: <http://canadamakes.ca/additive-manufacturing-101> [acedido a 29 de junho de 2019].

Stratasys. (2019). *3D Printing & Additive Manufacturing Services* | Stratasys Direct. [online] Disponível em: <https://www.stratasysdirect.com/resources/tutorials/what-is-3d-printing> [acedido a 29 de junho de 2019].

Stratasys. (2019). *5 Unstoppable Industries Using Additive Manufacturing* | Stratasys Direct. [online] Disponível em: <https://www.stratasysdirect.com/manufacturing-services/3d-printing/unstoppable-industries-using-additive-manufacturing> [acedido a 29 de junho de 2019].

V., C. (2019). *Top 10 Best CAD Software for All Levels - 3Dnatives*. [online] 3Dnatives. Disponível em: <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/> [acedido a 29 de junho de 2019].

Watkin, H. (2019). *How to 3D Print a Name Tag Using Tinkercad* | All3DP. [online] All3DP. Disponível em: <https://all3dp.com/how-to-3d-print-a-name-tag-using-tinkercad/> [acedido a 29 de junho de 2019].