



ESCOLA NAVAL

talento e  biefaire



Marta Isabel Martins Gonçalves

Impressão 3D na Direção de Abastecimento

***Viabilidade da sua aplicação na produção de sobressalentes para as Unidades
Navais***

**Dissertação para obtenção do grau de mestre em Ciências Militares
Navais, especialidade de Administração Naval**



Alfeite

2022



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Marta Isabel Martins Gonçalves

Impressão 3D na Direção de Abastecimento

Viabilidade da sua aplicação na produção de sobressalentes para as Unidades Navais

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na
especialidade de Administração Naval

Orientação de: CFR AN Duarte Ramos

Co-orientação de: 2TEN AN Vilarinho Filipe

O Aluno Mestrando,

O Orientador,

Marta Isabel Martins
Gonçalves

Nuno Miguel Costa Gaspar
Duarte Ramos



Epígrafe

*“The task is, not so much to see what no one has seen yet;
but to think what nobody has thought yet, about what everybody sees”*

Arthur Schopenhauer



Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu Orientador, capitão-de-fragata da classe de administração naval, Duarte Ramos, e ao meu Coorientador, segundo-tenente da classe de administração naval, Vilarinho Filipe, por toda a ajuda e apoio que me deram ao longo destes meses, e por me motivarem e orientarem da melhor forma possível.

À minha Mãe e à minha Avó, as duas mulheres da minha vida, por me terem tornado na mulher que sou hoje, e por me terem sempre apoiado durante toda a minha vida, mas especialmente durante o meu percurso na Escola Naval. Obrigada por me motivarem e me mostrarem que sou capaz de alcançar tudo aquilo que eu quiser. São sem sombra de dúvida as minhas heroínas.

Um agradecimento muito especial ao meu tio “Manel”, pois sem ele certamente não teria ingressado na Escola Naval e não apresentaria esta dissertação. Obrigada por me apoiares sempre e acreditares em mim, e por me ensinares que com muito esforço e dedicação nada é impossível.

A todos os militares e civis da Direção de Abastecimento que contribuíram para este trabalho, por toda a sua disponibilidade, apoio e por todo o conhecimento que me transmitiram, essencial não só para a elaboração desta dissertação, como também para o meu futuro como oficial da classe de administração naval.

À segundo-tenente da classe de marinha, Leitão Torres, por me ter incutido os valores corretos, que fazem de mim a oficial que sou hoje, e por ser o exemplo daquilo que é ser um verdadeiro oficial de Marinha.

À aspirante-a-oficial da classe de marinha Teorgas Queirós, um enorme obrigada por todo o apoio e paciência ao longo destes cinco anos. Obrigada por todos os bons momentos por que passamos, e por me teres ajudado a superar os menos bons.

Às minhas camaradas de classe, aspirantes-a-oficial da classe de administração naval, Campos e Costa, e Santo Cançado, por todo o apoio durante estes cinco anos de Escola Naval, sem dúvida que sem vocês este percurso teria sido bem mais penoso.



Aos meus camaradas de curso, capitão-de-mar-e-guerra Fernando Amor Monteiro de Barros, por, durante estes cinco anos, me proporcionarem momentos que levarei para sempre comigo, e por me ensinarem o verdadeiro significado da camaradagem.

Ao meu namorado, André, por me ter apoiado e encorajado nos momentos mais difíceis durante a elaboração deste trabalho. Agradecer por me fazeres acreditar em mim, e por toda a paciência e compreensão.

A todos vós um muito obrigada.



Resumo

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, tem verificado um crescimento exponencial, e como tal, várias indústrias o têm aplicado em diversas áreas nos seus processos de produção, permitindo-lhes obter diferentes tipos de peças com rapidez e a baixo custo.

Assim, o principal objetivo do presente trabalho consiste em analisar a viabilidade da introdução da produção aditiva na produção de sobressalentes, de modo que seja possível alcançar um ciclo logístico mais eficiente, mais concretamente na fase de aquisição, uma vez que se estaria a adotar a produção *Just-in-Time*. Permitiria uma redução *lead time* dos artigos, e, conseqüentemente, no tempo de espera das Unidades Navais, não colocando em causa a sua prontidão.

Por forma a alcançar este objetivo, num primeiro momento esta dissertação explica o conceito de impressão 3D, o seu surgimento e desenvolvimento, as suas diferentes tecnologias e materiais utilizados, e por fim as suas áreas de aplicação e respetivas vantagens e desvantagens.

De seguida, partindo de uma base de dados de todos os sobressalentes da área de material G – sobressalentes eletromecânicos – adquiridos diretamente ao mercado e requisitados através de *emergency requirement*, foram selecionados, tendo em consideração critérios previamente estabelecidos e as limitações referentes à disponibilidade da informação e à existência dos sobressalentes em depósito, aqueles considerados como viáveis para a manufatura aditiva.

Por fim, com recurso a *softwares* de modulação direcionados para a impressão 3D, serão realizadas estimativas do tempo e custo de impressão para as peças anteriormente selecionadas, e, posteriormente, comparadas ao *lead-time* e custo de aquisição ao fornecedor, de modo a reunir evidências que permitam demonstrar se que a impressão 3D é uma opção viável para a produção de alguns sobressalentes na Marinha.

Palavras-chave: Impressão 3D; Manufatura aditiva; Sobressalentes; Eficiente; Prontidão.



Abstract

3D printing, also known as additive manufacturing, has seen exponential growth, therefore, several industries have introduced it in their production processes, allowing them to obtain different types of parts quickly and at low cost in various areas.

Thus, the main goal of the present work is to analyze the feasibility of introducing 3D printing in the production of spare parts, in order that it is possible to achieve a more efficient logistic cycle, more specifically in the acquisition phase. Since Just-in-Time production would be adopted, there would be a reduction in the spare parts lead time, and, consequently, in the waiting time of the Marine Units, not calling into question their readiness.

As such, to achieve this goal, at first this dissertation explains the concept of 3D printing, its emergence and development, its different technologies and the materials used, and finally its areas of application, advantages, and disadvantages.

Then, starting from a database of all spare parts in the G material area – electromechanical spares – purchased directly from the market and ordered through an emergency requirement, they were selected, considering previously established criteria and the limitations regarding the availability of information. and the existence of spare parts in storage, those considered viable for additive manufacturing.

Finally, using modulation software for 3D printing, estimates will be made about the time and cost of printing, for the previously selected parts, thus compared to the provider cost and lead-time, in order to gather evidence to demonstrate whether 3D is a viable option, or not, for the spare parts production in the Portuguese Navy.

Key words: 3D printing; Additive manufacturing; Spare Parts; Efficient; Readiness.



Índice

EPÍGRAFE.....	III
AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	XVII
INTRODUÇÃO	3
1.1 ENQUADRAMENTO	3
1.2 JUSTIFICAÇÃO DO TEMA	3
1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	7
1.3.1 Objeto do estudo	7
1.3.2 Questões de investigação e objetivos	8
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 IMPRESSÃO 3D	13
2.1.1 Conceito de indústria 4.0	13
2.1.2 Conceito de impressão 3D.....	14
2.1.3 Evolução Histórica da Impressão 3D	15
2.1.4 Desenvolvimento do processo de impressão 3D.....	17
2.1.5 Classificação das Tecnologias de Impressão 3D	19
2.1.6 Grupos de Materiais utilizados na Impressão 3D	25
2.1.7 Áreas de aplicação.....	26
2.1.8 Vantagens da Impressão 3D para a produção de sobressalentes.....	29
2.1.9 Limitações da Impressão 3D	33
3 ESTUDO PARA A SELEÇÃO DOS ARTIGOS VIÁVEIS PARA PRODUÇÃO EM 3D	39
3.1 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DOS ARTIGOS PARA IMPRESSÃO 3D	39



3.2	CÁLCULO DA <i>LEAD-TIME</i> DE MANUFATURA	40
3.3	ANÁLISE DA VIABILIDADE ESTRUTURAL DOS SOBRESSALENTES	42
3.4	MODULAÇÃO DOS ARTIGOS SELECIONADOS	44
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1	ANÁLISE DOS CUSTOS DA IMPRESSÃO 3D	49
4.2	ANÁLISE DA VIABILIDADE DOS ARTIGOS SELECIONADOS	53
5	CONCLUSÃO	57
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	59
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A – ANÁLISE DAS ENTREVISTAS REALIZADAS	65
	APÊNDICE B – REGISTO FOTOGRÁFICO DOS SOBRESSALENTES SELECIONADOS.....	69
	APÊNDICE C – ENTREVISTA REALIZADA AO 1SAR ETC LÁZARO PERALTA.....	74
	APÊNDICE D – CÁLCULOS PARA OS CUSTOS DE IMPRESSÃO	76
	APÊNDICE E – MATERIAIS TIDOS EM CONSIDERAÇÃO PARA AS ESTIMATIVAS DE TEMPO E CUSTO	80
	APÊNDICE F – EDIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DA MANUFATURA ADITIVA	83



Índice de Figuras

Figura 1 - Pilares da indústria 4.0	14
Figura 2 - Mercado global de impressão 3D, entre 2013 e 2021.	15
Figura 3 - SLA-1, primeira impressora 3D.....	16
Figura 4 - Fases do desenvolvimento do processo de impressão 3D.	17
Figura 5 - Modelo digital com recurso a um sistema de modulação 3D (Fusion360)17	
Figura 6 - Representação do processo de reverse engineering.	18
Figura 7 - Representação do processo de jato de aglutinante	19
Figura 8 - Representação do processo de deposição direcionada de energia.	20
Figura 9 - Representação do processo de extrusão de material.	21
Figura 10 - Representação do processo de jato de material.....	21
Figura 11 - Representação do processo de fusão em cama de pó.	22
Figura 12 - Representação do processo de construção por laminados.	23
Figura 13 - Representação do processo de fotopolimerização de resina.	23
Figura 14 - Classificação dos materiais de impressão 3D.	25
Figura 15 – Reparação de pá de turbina utilizando a impressão 3D.	28
Figura 16 – Utilização da impressão 3D para a produção de sobressalentes.	28
Figura 17 - Obtenção da informação para o cálculo do lead time de manufatura	41



Índice de Tabelas

Tabela 1 - Objetivos estratégicos da DEM de 2022 relevantes para a dissertação.	4
Tabela 2 - Áreas de material existentes na Marinha.	5
Tabela 3 - Questões de investigação e objetivos.....	8
Tabela 4 - Tecnologias de impressão 3D.....	24
Tabela 5 - Vantagens da impressão 3D.	32
Tabela 6 - Vantagens e limitações da impressão 3D.....	35
Tabela 7 - Listagem das pessoas entrevistadas e respetivos cargos.....	39
Tabela 8 - Resultados da modulação dos artigos selecionados.....	45
Tabela 9 - Custo por peça dos sobressalentes analisados.....	49
Tabela 10 - Custo de produção utilizando a impressão 3D e o custo de aquisição ao fornecedor.....	50
Tabela 11 - Break-even point para as peças plástica.....	51
Tabela 12 - Break-even point para as peças metálicas.....	51
Tabela 13 - Análise comparativa do tempo de entrega do fornecedor e o tempo necessário para todo o processo de impressão 3D.....	52
Tabela 14 - Classificação dos diferentes sobressalentes relativamente ao seu tempo e custo de impressão.....	53
Tabela 15 - Questões realizadas no âmbito da entrevista.	65
Tabela 16 - Síntese da entrevista realizada ao 1SAR ETC Lázaro Peralta.	74
Tabela 17 - Custos de eletricidade com a impressão das peças em plástico.....	76
Tabela 18 - Custos de eletricidade com a impressão das peças em metal.....	77
Tabela 19 - Depreciação de ambas as impressoras 3D.....	78
Tabela 20 - Peças em plástico e o material escolhido para a sua impressão.	80
Tabela 21 - Peças em metal e o material escolhido para a sua impressão.....	80



Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Comparação custo vs. complexidade entre o fabrico aditivo e os métodos de produção convencionais.	31
Gráfico 2 - Breakeven point entre a produção convencional e aditiva.....	32
Gráfico 3 - Cálculo do lead time de manufatura (T).	41
Gráfico 4 - Variação da quantidade de sobressalentes ao longo do processo de seleção dos sobressalentes.	43



Lista de Abreviaturas e Acrónimos

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CEOM	Centro de Experimentação Operacional da Marinha
CEOV	Centro de Experimentação Operacional de Veículos Não Tripulados
CDOT	Chefe da Divisão Operacional e Técnica
CJP	<i>Color Jet Printing</i>
DA	Direção de Abastecimento
DCM	Divisão de Catalogação do Material
DED	Deposição Direta de Energia
DEM	Diretiva Estratégica da Marinha
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
DN	Direção de Navios
DoD	<i>Drop-on-Demand</i>
DOTMLPI	Doutrina, Organização, Treino, Material, Liderança, Pessoal, Infraestruturas
EBM	<i>Eletron Beam Melting</i>
EMREQ	<i>Emergency Requirement</i>
EUA	Estados Unidos da América
FDM	<i>Fusion Deposition Modeling</i>
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
I&D&I	Investigação, Desenvolvimento e Inovação
IoT	<i>Internet of Things</i>



JIT	<i>Just-In-Time</i>
LMD	<i>Laser Metal Deposition</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
MJM	<i>Multi Jet Modeling</i>
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NMCRL	<i>NATO Master Catalogue of References for Logistics</i>
NNIA	Número Nacional de Identificação do Artigo
NSN	<i>NATO Stock Number</i>
OA	Organismo Abastecedor
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
SICMAR	Sistema Integrado de Catalogação da Marinha
SIGDN	Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLI	<i>Slice File</i>
SLM	<i>Selective Laser Melting</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
STL	<i>Standard Triangulated Language</i>
UC	<i>Ultrasonic Consolidation</i>
UN	Unidades Navais
USD	<i>United States Dollar</i>
UV	Ultravioleta



Introdução

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Justificação do tema
- 1.3 Objetivos da dissertação
- 1.4 Enquadramento Metodológico
- 1.5 Estrutura da dissertação



Introdução

1.1 Enquadramento

O conceito de Fabrico Aditivo, mais recentemente denominado por impressão 3D, pode traduzir-se no conjunto de processos que permitem criar um objeto a partir de um modelo digital tridimensional, conhecido por modelo CAD (*Computer-Aided Design*), através da adição de um determinado material em sucessivas camadas, deste modo, é possível obter peças de elevada complexidade (Relvas, 2018).

Apesar de ser uma tecnologia que surgiu há cerca de 40 anos, apenas começou a ganhar alguma notoriedade nos últimos anos devido à sua adoção por parte de diferentes setores de atividade, como é o caso da Defesa.

Globalmente tem-se verificado a adoção do Fabrico Aditivo por parte das Marinhas de diversos países, como por exemplo a dos Estados Unidos da América (EUA), que utilizam esta tecnologia a bordo dos seus navios para a produção de componentes, permitindo assim a manutenção da sua prontidão e operacionalidade a baixo custo e com elevada rapidez (Bouffard & Wolk, 2016).

Sendo Portugal um país com recursos financeiros limitados, principalmente na Defesa, com a adoção desta tecnologia no ciclo logístico da Marinha, mais concretamente na fase de aquisição de sobressalentes, devido ao seu valor e especificidades, seria possível, segundo (Filipe, 2018):

- uma redução de custos, comparativamente aos praticados na aquisição dos artigos aos fornecedores;
- uma otimização do espaço de armazenagem;
- a produção de peças que já não existam no mercado por motivos de obsolescência;
- uma redução dos *lead-time* de manufatura, levando, consequentemente, a uma redução no tempo de reparação das Unidades Navais (UN).

1.2 Justificação do tema

O presente trabalho pretende estudar a viabilidade da aplicação da tecnologia da impressão 3D para a produção centralizada de sobressalentes na Direção de



Abastecimento (DA), de modo que seja possível alcançar uma maior eficiência¹ nos processos da cadeia de abastecimento², resultando numa otimização da gestão dos recursos utilizados.

O tema do presente trabalho classifica-se como um tema atual e com relevância para a organização, uma vez que se encontra alinhado com a Diretiva Estratégica da Marinha 2022 (DEM2022), mais concretamente, no que concerne aos objetivos estratégicos P2, P3, TA1 e TA3, no âmbito da prontidão e do avanço tecnológico da Marinha, referidos na .

Tabela 1 - Objetivos estratégicos da DEM de 2022 relevantes para a dissertação.

Fonte: Adaptada da DEM de 2022.

Âmbito	Objetivos Estratégicos
Prontidão (P)	2. Elevar a disponibilidade material e humana; 3. Criar condições para uma maior independência dos fatores externos.
Tecnologicamente Avançada (TA)	1. Potenciar a inovação tecnológica; 3. Promover a independência tecnológica.

Relativamente à escolha da área de material, esta foi realizada através de um processo de exclusão, tendo como principal objetivo concluir qual, ou quais, as áreas de material cuja aplicação da impressão 3D traria um aumento de eficiência para a Marinha e seria economicamente viável.

De acordo com Despacho do Superintendente do Material n.º 54/16, de 13 de julho, existem dez áreas de material categorizadas de “A” a “J”, conforme .

¹ No âmbito deste trabalho, o que se pretende com “uma maior eficiência” é a obtenção de um mesmo resultado (satisfação das necessidades das UN, no âmbito dos sobressalentes), com uma menor quantidade de recursos (tempo e/ou custos).

² Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, entende-se por cadeia de abastecimento “os intercâmbios materiais e informativos no processo logístico, desde a aquisição de matérias-primas até à entrega de produtos acabados ao utilizador final”. (Vitasek, 2013, p. 186).



Tabela 2 - Áreas de material existentes na Marinha.

Área de Material	
A	Mantimentos
B	Fardamento
C	Artefactos
D	Expediente
E	Pequeno Equipamento
F	Combustíveis e Lubrificantes
G	Sobressalentes Eletromecânicos
H	Recuperáveis e Inúteis
I	Impressos
J	Sobressalentes Eletrônicos

Numa primeira análise foram eliminadas as áreas de material A – Mantimentos – e F – Combustíveis e Lubrificantes – dado que a impressão 3D ainda não se encontra muito desenvolvida nestas áreas.

Nas restantes áreas de material foi realizada a seguinte análise:

- B – Fardamento: apesar da manufatura aditiva já ser utilizada na indústria têxtil, existe ainda uma limitação relativamente aos materiais disponíveis, pelo que, não é possível imprimir determinados artigos de fardamento, como por exemplo camisas, gravatas e lenços. Contudo, artigos como as chapas e placas de identificação, e os distintivos, serão possíveis candidatos à produção em 3D, permitindo à Marinha, ainda que a nível reduzido, independência face a entidades externas;
- C – Artefactos: esta área de material é uma das mais diversificadas, englobando artigos com as mais variadas dimensões e materiais, razão pela qual não seria a opção mais viável para uma primeira abordagem no âmbito da impressão 3D, uma vez que existiria a necessidade de adquirir diferentes tipos de impressoras 3D e de matérias-primas;
- D – Expediente e I – Impressos: apesar de ser possível imprimir em 3D alguns dos artigos englobados nesta área de material, não seria vantajoso fazê-lo, uma vez que, ao se tratarem de artigos produzidos em elevadas quantidades, pelo



que será financeiramente mais compensatório adquiri-los ao mercado, visto que são produzidos utilizando economias de escala;

- E – Pequeno Equipamento: sendo uma área de material em desuso, a aplicação da impressão 3D não traria qualquer vantagem no âmbito da eficiência a longo prazo;
- G – Sobressalentes Eletromecânicos e J – Sobressalentes Eletrónicos: tendo em conta que, segundo dados fornecidos pela Secção de sobressalentes da DA, estas constituem as áreas de material com uma das maiores expressões financeiras na Marinha, a aplicação da impressão 3D mostrar-se-ia vantajosa e útil, no sentido em que, para determinados artigos, permitiria reduzir o tempo de resposta às necessidades das UN, bem como os custos associados. Como tal, existiria um aumento na eficiência da cadeia de abastecimento, visto que, a tarefa de satisfação das necessidades seria realizada num menor intervalo de tempo, e utilizando uma menor quantidade de recursos financeiros;
- H – Recuperáveis e Inúteis: no âmbito dos inúteis a manufatura aditiva não teria utilidade, visto que, como o próprio nome indica, se tratam de artigos que atingiram o fim do seu ciclo de vida. Contudo, seria possível utilizá-la para a recuperação de alguns artigos, permitindo que estes fossem reintroduzidos na cadeia de abastecimento mais rapidamente, visto que a reparação não dependeria unicamente de entidades externas.

É assim possível concluir que a impressão 3D apresentaria mais utilidade nas áreas de material do fardamento (B), dos sobressalentes (eletromecânicos (G) e eletrónicos (J)) e dos recuperáveis (H).

Para a realização deste estudo optou-se pela área de material dos sobressalentes eletromecânicos (G), uma vez que, comparativamente ao fardamento e aos recuperáveis, teria um maior impacto na operacionalidade das UN, permitindo a redução da ocorrência de limitações operacionais prolongadas. Em comparação aos sobressalentes eletrónicos, os sobressalentes eletromecânicos apresentam uma maior expressão orçamental, pelo que, de uma perspetiva económica, a aplicação da manufatura aditiva nesta área de material permitiria a sua redução resultando num aumento da eficiência.



1.3 Objetivos da dissertação

O objetivo central deste trabalho é identificar e quantificar o potencial da aplicação da impressão 3D na Marinha, de modo a potenciar a eficiência a nível logístico e económico.

De modo a atingir o objetivo central recorrer-se-á aos seguintes objetivos específicos:

1. Formular os critérios a aplicar na seleção dos sobressalentes candidatos à produção em 3D;
2. Analisar, partindo de uma base de dados requisitada à DA, quais os artigos viáveis à produção em 3D;
3. Estimar os custos e o tempo da produção em 3D, e compará-los com o custo de aquisição ao fornecedor e com o *lead-time* de manufatura;
4. Avaliar, tendo em conta os sobressalentes selecionados, se é possível utilizar os meios já existentes na Marinha, ou se é necessária a aquisição de novos.

1.3.1 Objeto do estudo

O objeto de estudo neste trabalho será um conjunto de bases de dados, em formato Excel, fornecidas pela DA, com informação relativa aos processos de aquisição direta ao mercado de sobressalentes por parte dos navios, aos pedidos de requisições urgentes de material realizados, EMREQ (*Emergency Requirement*) e às entradas de material nos depósitos da DA, durante o período decorrido entre 2017 e 2021.



1.3.2 Questões de investigação e objetivos

Tabela 3 - Questões de investigação e objetivos.

Fonte: Autora.

Questão Central (QC)	Questões Derivadas (QD)	Objetivo Central (OC)	Objetivos Específicos (OE)	Organização do Trabalho	Métodos de recolha de dados
É viável, do ponto de vista económico, a integração da tecnologia de impressão 3D para a produção de sobressalentes para as unidades navais na Direção de Abastecimento.	Quais os critérios a aplicar na seleção dos sobressalentes para a produção em 3D.	Obter evidências que permitam verificar a viabilidade da introdução da impressão 3D na produção de sobressalentes.	Formular os critérios que serão aplicados para a seleção dos sobressalentes candidatos à produção em 3D.	Capítulo 3	Entrevistas exploratórias.
	Tendo em conta os critérios previamente selecionados, quais os artigos que constituem uma opção viável para a produção em 3D.		Analisar, partindo de uma base de dados requisitada à Direção de Abastecimento, quais os artigos viáveis à produção em 3D.	Capítulo 3	Análise de bases de dados referentes a processos de despacho 4, EMREQ e datas de entrada de material em armazém.
	É mais vantajoso produzir os artigos ou adquiri-los ao fornecedor.		Estimar os custos e o tempo da produção em 3D e compará-los com o custo de aquisição ao fornecedor e ao <i>lead-time</i> de manufatura.	Capítulo 3 e Capítulo 4	Diálogo com pessoal das entidades detentoras de meios de impressão 3D.
	É possível produzir os artigos utilizando os meios que temos, ou é necessário adquirir novos meios.		Investigar se é necessária a aquisição de novos meios de impressão 3D para a produção dos sobressalentes analisados.	Capítulo 4	Diálogo com pessoal das entidades detentoras de meios de impressão 3D.
			Dar resposta à QC	Conclusões	Reunir contributos dos capítulos anteriores.



1.4 Estrutura da dissertação

O presente trabalho terá a seguinte estrutura:

- No primeiro capítulo, “Introdução”, será efetuado o enquadramento da temática abordada neste trabalho, bem como a justificação da sua escolha. Pretende-se ainda expor a questão central, as questões derivadas e os respetivos objetivos específicos;
- Ao longo do segundo capítulo, “Revisão da literatura”, serão abordados diversos tópicos relacionados com a temática da dissertação, nomeadamente:
 - Explicação do conceito de indústria 4.0 e de impressão 3D;
 - Descrição da sua evolução histórica;
 - Descrição das etapas referentes ao desenvolvimento do processo de impressão 3D;
 - Classificação das diversas tecnologias de impressão 3D;
 - Exposição dos grupos de materiais utilizados;
 - Apresentação das suas áreas de aplicação;
 - Descrição das suas vantagens e limitações.
- No terceiro capítulo, “Estudo para a seleção dos artigos viáveis para produção em 3D”, descritas as etapas realizadas para a obtenção dos resultados necessários para responder à questão central, mais concretamente:
 - Escolha do critério a utilizar para selecionar os artigos;
 - Descrição do processo realizado para a obtenção dos dados;
 - Cálculo dos *lead-time* de manufatura e respetiva análise dos resultados obtidos;
 - Recolha da informação para a análise da viabilidade estrutural dos sobressalentes;
 - Modulação dos artigos.
- O quarto capítulo, “Análise e discussão dos resultados” tem como objetivo analisar os resultados obtidos nas diversas análises realizadas no capítulo anterior, por forma a facilitar a obtenção de conclusões relevantes e que permitam responder à questão central do trabalho;



- No quinto e último capítulo, “Conclusões e trabalhos futuros”, serão abordadas as conclusões retiradas dos resultados obtidos, bem como as limitações encontradas ao longo da elaboração do trabalho e propostas de temas para dissertações futuras.



Revisão da Literatura

2.1 Impressão 3D

2.1.1 Conceito de indústria 4.0

2.1.2 Conceito de impressão 3D

2.1.3 Evolução histórica

2.1.4 Desenvolvimento do processo de impressão 3D

2.1.5 Classificação das tecnologias de impressão 3D

2.1.6 Grupos de materiais utilizados

2.1.7 Áreas de aplicação

2.1.8 Vantagens para a produção de sobressalentes

2.1.9 Limitações da impressão 3D

2 Revisão da Literatura

O presente capítulo tem como principal objetivo apresentar um conjunto de tópicos associados à impressão 3D, iniciando pela explicação do conceito de indústria 4.0 e de impressão 3D, e da forma como esta tecnologia surgiu e se desenvolveu ao longo dos anos, passando pela descrição de todo o processo de impressão, desde o ficheiro digital até à obtenção do objeto físico, e das tecnologias e materiais utilizados para o mesmo. Por fim, serão apresentadas as áreas em que a impressão 3D é utilizada, bem como as suas vantagens e limitações na produção de sobressalentes.

2.1 Impressão 3D

2.1.1 Conceito de indústria 4.0

A impressão 3D é um dos elementos fundamentais da indústria 4.0, pelo que, antes de abordar o seu conceito, é necessário compreender o que é a indústria 4.0.

A indústria 4.0, ou a quarta revolução industrial, consiste na automatização e digitalização da indústria e de todos os processos relacionados com as empresas, sendo constituída por diferentes tipos de tecnologias (IBM, s.d.). Como tal, agrupa sistemas físicos, digitais e biológicos numa rede de produção inteligente onde diferentes componentes interagem e colaboram entre si, dando origem a soluções flexíveis, inteligentes e autónomas.

Esta revolução implica assim a transformação digital da indústria e das empresas com a integração de novas tecnologias disruptivas, nomeadamente:

- Impressão 3D;
- *Internet das coisas (Internet of Things - IoT)*;
- *Big Data*;
- Cibersegurança;
- *Machine learning*;
- Inteligência artificial;
- Entre outros, apresentados abaixo na Figura 1.



Figura 1 - Pilares da indústria 4.0

Fonte: Adaptado de Boston Consulting Group

2.1.2 Conceito de impressão 3D

Aquando do seu aparecimento, a impressão 3D era denominada por prototipagem rápida referindo-se à *“manufatura aditiva de um modelo, frequentemente iterativo, para testes de forma, ajuste ou funcionais, ou uma combinação dos mesmos”* (ISO/TC 261 & ASTM Committee F42, 2015), isto é, os modelos fabricados eram apenas protótipos, não sendo aplicados em serviço.

A partir de 2013, com o aumento da sua popularidade e acessibilidade, como mostrado na Figura 2, começou-se a utilizar o termo impressão 3D, sendo este definido como o *“processo de juntar materiais para produzir objetos a partir dos dados de um modelo 3D, tipicamente camada por camada, contrariamente às metodologias de manufatura subtrativa”* (ISO/TC 261 & ASTM Committee F42, 2015). Contrariamente à prototipagem rápida, a impressão 3D é utilizada para *“processos de produção reais, isto é, fabricam peças que se destinam a um verdadeiro ciclo de vida do produto”* (Relvas, 2018).

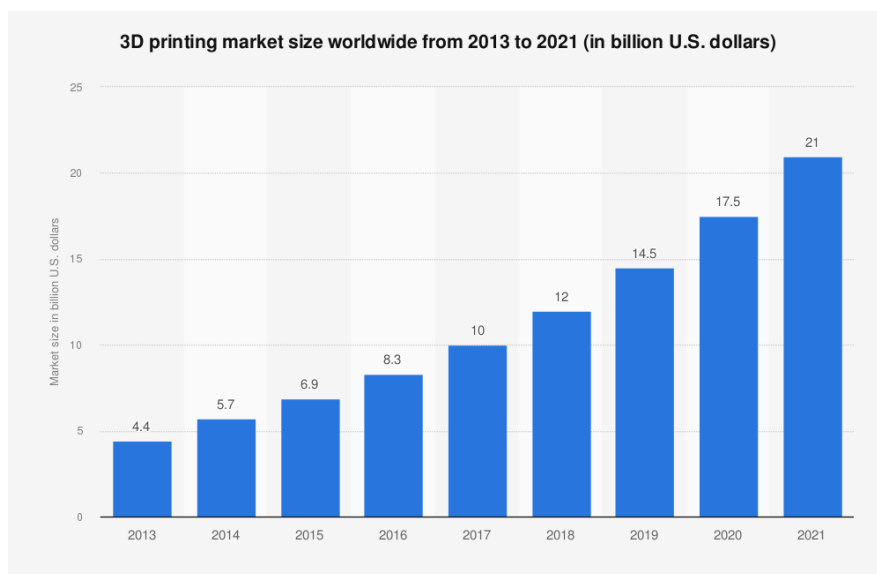


Figura 2 - Mercado global de impressão 3D, entre 2013 e 2021.

Fonte: <https://www.statista.com/statistics/796237/worldwide-forecast-growth-3d-printing-market/>

De modo a evitar confusão entre estes dois termos, pode ainda fazer-se uso do termo “fabrico aditivo” uma vez que é mais geral, referindo-se “a qualquer tecnologia de fabrico que utilize processos de fabrico por camadas para a obtenção de modelos ou protótipos, (...) usados para o fabrico de peças finais” (Relvas, 2018), englobando tanto a prototipagem rápida quanto a impressão 3D.

2.1.3 Evolução Histórica da Impressão 3D

A impressão 3D não é uma tecnologia recente, uma vez que já se encontra disponível no mercado há cerca de 40 anos, como já referido anteriormente. Contudo, apenas a partir de 2012, ano em que se tornou acessível ao público em geral, se verificou uma maior divulgação e desenvolvimento desta tecnologia (Commonwealth Digital, s.d.).

O aparecimento das primeiras tecnologias de impressão 3D remonta a 1980 quando o Dr. Hideo Kodama apresentou o primeiro pedido de patente para a tecnologia de prototipagem rápida. Contudo, esta patente foi revogada, uma vez que o Dr. Kodama não apresentou as especificações da mesma dentro do prazo imposto. Como tal, considera-se que a prototipagem rápida teve origem, oficialmente, em 1984, ano em que foi emitida a primeira patente para este tipo de tecnologia. Esta patente foi apresentada por Charles Hull, com o título “*Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by*

Stereolithography”, e regista o processo de produção denominado por estereolitografia⁴ (SLA), onde eram utilizados fotopolímeros⁵ para a obtenção de modelos através da sobreposição por camadas deste material.

Em 1986, é cofundada por Hull a *3D Systems, Inc.*, tornando-se a primeira empresa a nível mundial de impressão 3D, e comercializando no ano seguinte o primeiro sistema de SLA, o SLA-1, representado na Figura 3. Assim, pode-se afirmar que a SLA é a primeira tecnologia de prototipagem rápida.



Figura 3 - SLA-1, primeira impressora 3D.

Fonte: <https://br.3dsystems.com/our-story>.

Desde então, a tecnologia 3D tem vindo a desenvolver-se de forma notável com o aparecimento de outros métodos de fabrico aditivo, que serão abordados mais adiante, e que utilizam diversos materiais para além de fotopolímeros. Como tal, esta tecnologia tem-se tornado cada vez mais acessível ao público em geral, levando a uma forte redução dos custos de aquisição das impressoras 3D, tanto para fins profissionais como para fins pessoais.

⁴ Traduzido do termo em inglês “*stereolithography*”.

⁵ Segundo (Pandley R., 2014), os fotopolímeros são materiais poliméricos com elevada suscetibilidade à luz, alterando as suas propriedades quando expostos a luz ultravioleta (UV), passando do estado líquido para o estado sólido.

2.1.4 Desenvolvimento do processo de impressão 3D

De um modo simplificado, um processo de impressão 3D divide-se em cinco fases, como representado no esquema abaixo, realizadas sequencialmente e, normalmente, num curto espaço de tempo.

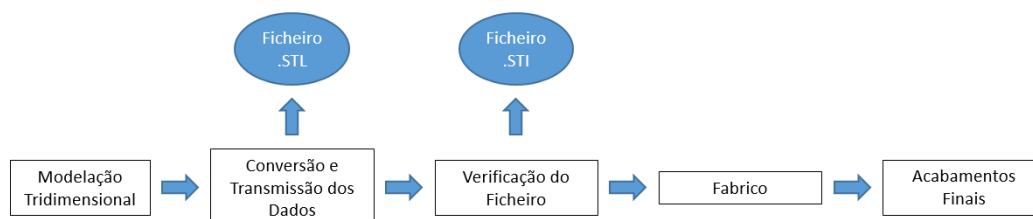


Figura 4 - Fases do desenvolvimento do processo de impressão 3D.

Fonte: Autora.

Tendo em conta que antes da produção de qualquer artigo em 3D é necessário o seu modelo digital, dá-se numa primeira fase a modelação tridimensional, onde se encontram especificadas as características do artigo a imprimir, como por exemplo forma e dimensões. De modo a obter este modelo digital poderá recorrer-se a um sistema CAD 3D, onde através de uma coleção de pontos em três dimensões no computador é possível criar o objeto pretendido em realidade virtual.

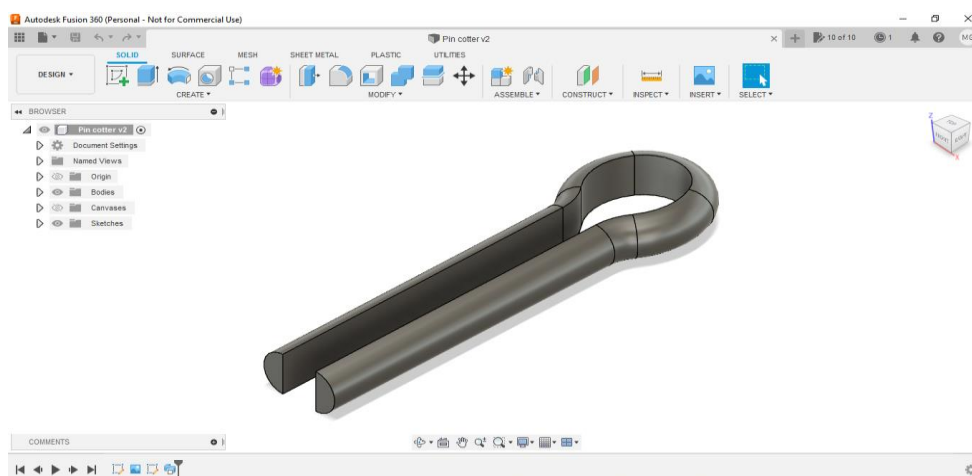


Figura 5 - Modelo digital com recurso a um sistema de modulação 3D (Fusion360)

Fonte: Autora.

Caso nos encontremos perante um objeto físico e sem suporte digital, poderá recorrer-se a um processo inverso de modelação (*reverse engineering*), onde é utilizado um sistema de *scanner* 3D para adquirir a forma do objeto, “do qual resulta uma nuvem de pontos que é posteriormente processada através de software até se atingir uma cópia digital 3D do objeto físico” (Relvas, 2018).

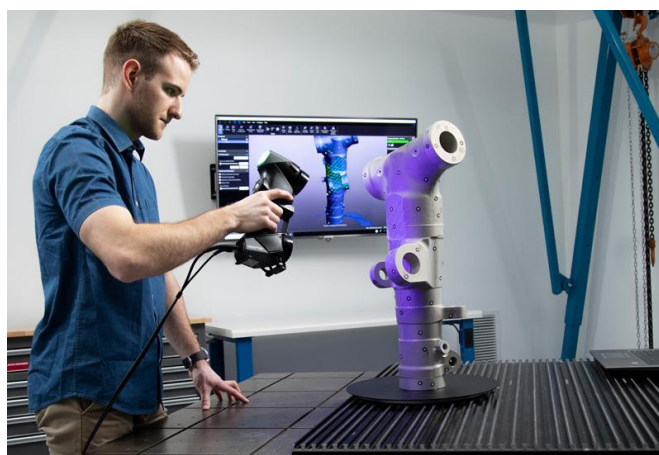


Figura 6 - Representação do processo de *reverse engineering*.

Fonte: <https://www.qualitymag.com/gdpr-policy?url=https%3A%2F%2Fwww.qualitymag.com%2Farticles%2F96640-the-many-applications-of-3d-scanning>

De seguida, e uma vez que as impressoras 3D não reconhecem os ficheiros provenientes dos sistemas CAD, é necessária a sua conversão num ficheiro em formato STL (*Standard Triangulated Language*), de modo que exista uma transmissão da informação contida no ficheiro do sistema CAD para a impressora 3D.

Posteriormente, na fase da verificação e preparação do ficheiro, verifica-se a existência de eventuais erros do modelo digital, como por exemplo falhas na modelação ou no ficheiro STL. Após identificados e corrigidos, caso se verifiquem, são definidos os parâmetros pretendidos para a produção do artigo, como por exemplo a espessura ou o material a utilizar para o preenchimento de cada camada. Antes da impressão do artigo, é gerado um ficheiro em formato SLI (*SLIce file*) como resultado da divisão em secções transversais do modelo da peça.

Na quarta etapa dá-se o fabrico do artigo, de forma autónoma, cuja duração depende de diversos fatores, tais como a complexidade do artigo, a sua dimensão, detalhe e

material a utilizar, e ainda os acabamentos finais, nomeadamente, a remoção da matéria-prima excedente, lixagem, pintura, etc.

Por fim, remove-se o artigo da impressora, podendo ser um processo simples ou tecnicamente avançado, dependendo da complexidade do artigo impresso e, de seguida, realizam-se os acabamentos necessários para que o artigo tenha as especificações requeridas.

2.1.5 Classificação das Tecnologias de Impressão 3D

Tendo por base a norma ISO/ASTM 52900, que “*estabelece e define os termos usados na tecnologia de fabrico aditiva*”, é possível classificar as tecnologias de impressão 3D em sete tipos: jato de aglutinante, deposição direcionada de energia, extrusão de material, jato de material, fusão em cama de pó, construção por laminados e fotopolimerização de resina.

- Jato de Aglutinante: “*processo no qual um agente de ligação líquido é depositado seletivamente para unir materiais em pó*” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de jato de aglutinante utiliza material em pó que é, seletivamente, pulverizado, através de uma cabeça impressora, com um agente de ligação líquido (cola ou aglutinante), repetindo-se este processo camada a camada. O agente de ligação pode conter pigmento de forma a conferir cor ao artigo final (Relvas, C., 2018).

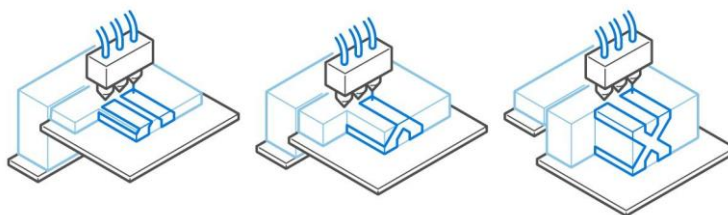


Figura 7 - Representação do processo de jato de aglutinante

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a impressão por jato de tinta (CJP⁶) e a impressão por jato aglutinante (*Metal Binder*).

- Deposição Direcionada de Energia: “*processo no qual a energia térmica concentrada é usada para fundir materiais por fusão à medida que são depositados*” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de deposição direcionada de energia utiliza um foco de energia térmica que funde o material, normalmente metal, à medida que este é depositado, podendo, ou não, ser por camadas.

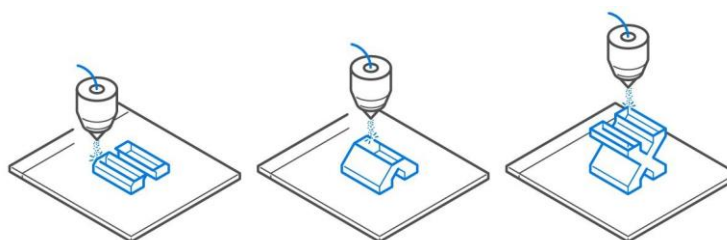


Figura 8 - Representação do processo de deposição direcionada de energia.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a deposição de metal a laser (LMD⁷) e *laser cladding*.

- Extrusão de Material: “*processo em que o material é dispensado seletivamente através de um bico ou orifício*” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de extrusão de material utiliza uma cabeça extrusora que aquece e deposita o material (termoplástico), camada a camada, na placa de construção, de forma a obter o objeto final.

⁶ Sigla do termo em inglês, “*Color Jet Printing*”.

⁷ Sigla do termo em inglês, “*Laser Metal Deposition*”.

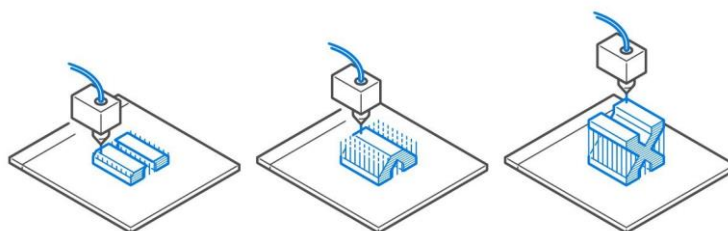


Figura 9 - Representação do processo de extrusão de material.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a modelação por fusão de deposição (FDM⁸) e o fabrico por filamento fundido (FFF⁹).

- **Jato de Material:** “processo no qual gotículas de matéria-prima são depositadas seletivamente” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de jato de material utiliza uma cabeça de impressão que deposita, de forma seletiva, gotículas de um determinado material, em finas camadas na placa de construção. Poderá utilizar-se ainda uma luz ultravioleta (UV) de forma a agilizar o processo de solidificação do material. Poderá ainda utilizar-se um material secundário, na maioria das vezes solúvel, com o objetivo de criar estruturas de suporte ao artigo durante o seu processo de construção, sendo posteriormente removido na fase dos acabamentos finais. (Relvas, C., 2018).

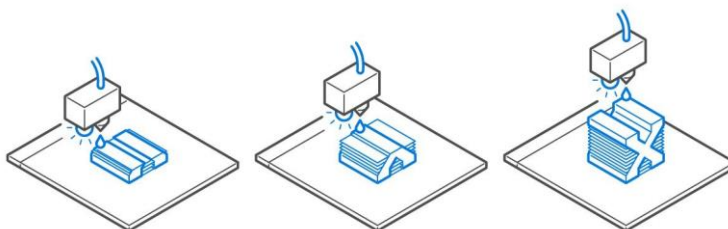


Figura 10 - Representação do processo de jato de material.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a modelação por multijacto (MJM) e *Drop-On-Demand* (DoD).

⁸ Sigla do termo em inglês, “*Fusion Deposition Modeling*”.

⁹ Sigla do termo em inglês, “*Fused Filament Fabrication*”.

- Fusão em Cama de Pó: “*processo em que a energia térmica funde seletivamente regiões de uma camada de material em pó*” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de fusão em cama de pó utiliza material em pó que é, seletivamente, fundido, total ou parcialmente, através de uma fonte de energia térmica (feixe laser ou de elétrons). Aquando obtida a primeira camada de material fundido, espalha-se outra camada de material em pó por cima daquela, repetindo-se o processo (Relvas, C., 2018).

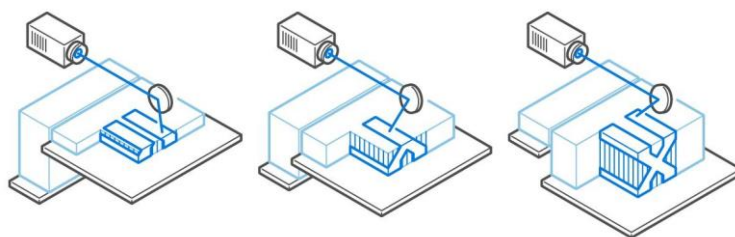


Figura 11 - Representação do processo de fusão em cama de pó.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a sinterização seletiva por laser (SLS¹⁰), a sinterização seletiva de metais (SLM¹¹), o *Eletron Beam Melting* (EBM) e a sinterização direta de metais por laser (DMLS¹²).

- Construção por Laminados: “*processo no qual folhas de material são unidas por forma a obter um objeto*” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de construção por laminados utiliza finas folhas de material, unidas entre si através de cola ou soldadura, que à medida que vão sendo depositadas são cortadas, através de um laser, lâmina ou fresa, por forma a obter o contorno da secção pretendida.

¹⁰ Sigla do termo em inglês, “*Selective Laser Sintering*”.

¹¹ Sigla do termo em inglês, “*Selective Laser Melting*”.

¹² Sigla do termo em inglês, “*Direct Metal Laser Sintering*”.

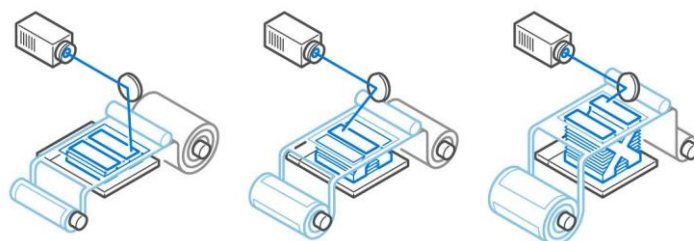


Figura 12 - Representação do processo de construção por laminados.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a fabricação de objetos laminados (LOM¹³) e consolidação ultrassônica (UC¹⁴).

- Fotopolimerização de resina: “processo no qual um fotopolímero líquido numa cuba é seletivamente curado por polimerização ativada por luz” (ISO/ASTM 52900).

A tecnologia de fotopolimerização de resina utiliza um fotopolímero líquido (resina polimérica) que é colocado numa tina e curado, de forma seletiva, através de polimerização ativada por luz UV, através de um feixe de laser ou de luz (Relvas, C., 2018).

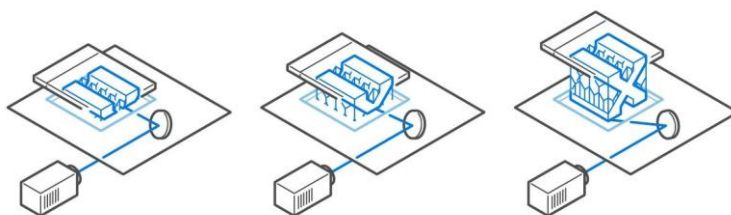


Figura 13 - Representação do processo de fotopolimerização de resina.

Fonte: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Neste tipo de tecnologia encontram-se englobadas: a estereolitografia (SLA) e o processamento de luz digital (DLP¹⁵).

De modo a sintetizar todos os tipos de tecnologia de impressão 3D acima referidos, bem como todas as suas características, apresenta-se de seguida a .

¹³ Sigla do termo em inglês, “*Laminated Object Manufacturing*”.

¹⁴ Sigla do termo em inglês, “*Ultrasonic Consolidation*”.

¹⁵ Sigla do termo em inglês, “*Digital Light Processing*”.



Tabela 4 - Tecnologias de impressão 3D.

Fonte: Autora.

Tecnologia de impressão 3D	Processos	Processos englobados	Materiais utilizados
Jato de aglutinante	Spray de cola (pó)	Impressão por jato de tinta (CJP)	Resinas e ceras.
		Impressão por jato de aglomerante (Prometal)	Metálicos
Deposição direcionada de energia	Fusão de material (jato de partículas)	Deposição de metal por laser (LENS) <i>Eletron beam directed energy deposition</i> (EBAM)	Metálicos
Extrusão de Material	Filamento de material (sólido)	Modelação por extrusão e deposição de material polimérico (FDM) Fabricação por fusão de filamento polimérico (FFF)	Termoplásticos
Jato de material	Jato de material (<i>spray</i>)	Modelação por multijactos de material (MJM)	Resinas poliméricas e ceras.
Fusão em cama de pó	Sinterização de material (pó)	Sinterização seletiva por laser (SLS)	Termoplásticos
		Sinterização direta de metais por laser (DMLS)	Metálicos
	Fusão de material (pó)	Sinterização de metais por laser (SLM) Fusão por feixe de eletrões (EBM)	Metálicos
Construção por laminados	Folhas de papel	Fabrico de objetos por laminados (LOM) <i>Selective deposition lamination</i> (SDL)	Papel e cera.
	Folhas de chapa	Consolidação ultrassónica	Metálicos
Fotopolimerização de resina	Tina de material (líquido)	Estereolitografia (SLA) Projeção digital de luz (DLP)	Resinas poliméricas

2.1.6 Grupos de Materiais utilizados na Impressão 3D

A diversidade de materiais disponíveis para a impressão 3D tem aumentado significativamente como resultado do crescente desenvolvimento desta tecnologia. O mercado exige cada vez mais exige materiais específicos, com determinadas propriedades mecânicas, como forma de substituir os métodos de produção tradicionais pelo fabrico aditivo. Como tal, não serão abordados todos os materiais de forma individual, contudo, e tendo por base as tecnologias de impressão 3D é possível classificá-los em dois grupos: polímeros, ou não metálicos, e metálicos.

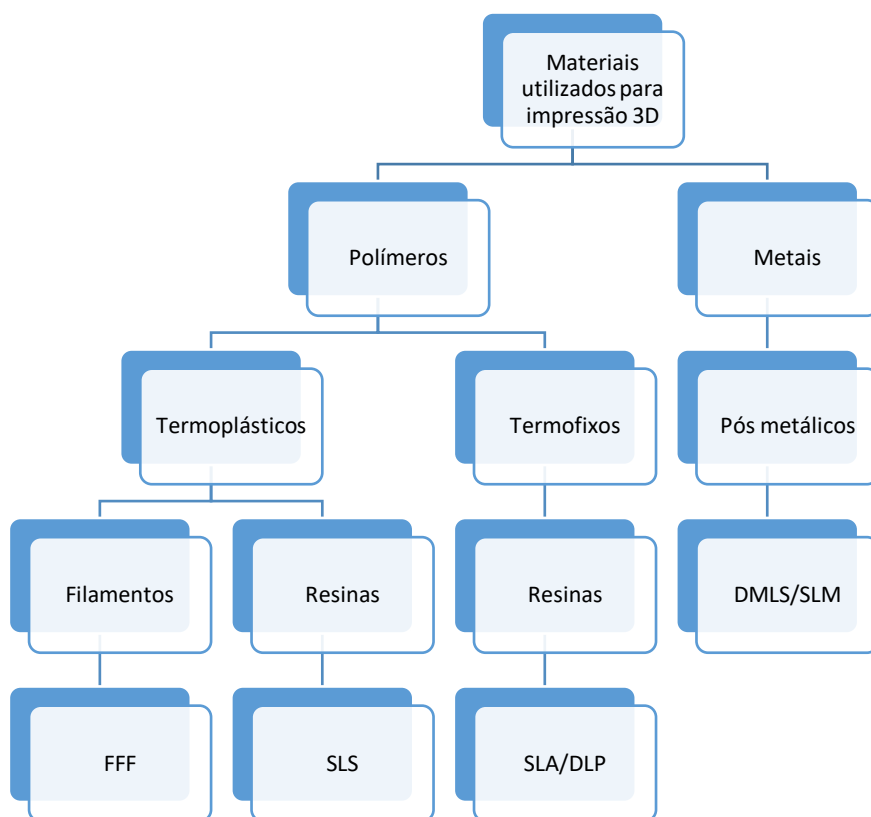


Figura 14 - Classificação dos materiais de impressão 3D.

Fonte: 3D Handbook por 3hubs.com

Polímeros: este tipo de material é o mais utilizado para impressão 3D, devido à sua ampla versatilidade e custo reduzido. Normalmente os polímeros podem vir em três formas diferentes: em filamento, em resina e em pó. Tendo em conta o seu comportamento térmico, podem ser subdivididos em duas subcategorias: termoplásticos e termofixos.



- Termoplásticos: este tipo de plástico pode ser derretido e solidificado as vezes que forem necessárias para a obtenção da forma desejada, mantendo, geralmente, as suas propriedades;
- Termofixos: contrariamente ao que sucede com os termoplásticos, as resinas não podem ser derretidas, uma vez que, começam como um fluido viscoso e solidificam por meio de calor, exposição à luz ou através da sua mistura com um catalisador. Uma vez no estado sólido, as resinas não podem ser derretidas, dado que perdem a sua integridade estrutural quando submetidas a elevadas temperaturas.
- Metais: ao contrário dos plásticos, os materiais metálicos são utilizados no estado de pó, e apresentam um custo superior, uma vez que para a produção de artigos em metal é frequentemente utilizada tecnologia de processamento por laser (Relvas, C., 2018). A impressão 3D em metal possibilita a obtenção de artigos de elevada qualidade, funcionalidade e resistência, sendo maioritariamente utilizados a nível industrial, mais concretamente na indústria aeroespacial, automóvel e medicina.

2.1.7 Áreas de aplicação

A produção aditiva foi originalmente projetada, única e exclusivamente, para fins de prototipagem, porém, nos últimos anos, esta tecnologia e as suas técnicas, demonstraram um notável desempenho numa variedade de aplicações nas mais diversas áreas e segmentos do mercado, possibilitando uma maior eficiência nos processos de produção e na utilização dos recursos utilizados.

Desta forma, a impressão 3D tem vindo a ser utilizada no setor da Defesa, na indústria aeronáutica e aeroespacial, na indústria automóvel, nos produtos de consumo (joalharia, vestuário, calçado, cinema, entre outros), na medicina (próteses e implantes), entre outros.

- Setor da Defesa: esta foi uma das primeiras indústrias a utilizar a impressão 3D, remontando a 1989, e, atualmente, representa uma das indústrias que mais contribui para seu o desenvolvimento. Ao longo dos anos, como resultado dos vários benefícios desta tecnologia, como por exemplo, a possibilidade de fabricar peças com geometrias complexas, com menos desperdício, a um menor custo e mais próximo do consumidor final, o setor da Defesa tem vindo a adotar cada vez mais esta tecnologia. No ano de 2021 o mercado de impressão



3D na indústria Aeroespacial e da Defesa deverá registar uma taxa de crescimento anual composto (CAGR)¹⁶ de mais de 24% entre 2022 e 2027, representando uma parte significativa deste mercado;

- Produção de sobressalentes: tendo em conta que os equipamentos e meios militares são mantidos e utilizados durante longos períodos de tempo, o setor da Defesa encontra-se dependente das peças, de forma a garantir a manutenção e consequente operacionalidade dos mesmos. Tendo em conta que esta área de material não possui um padrão regular de requisições, dificultando assim a previsão de quais as necessidades no futuro, a impressão 3D é uma opção viável, uma vez que, os sobressalentes podem ser produzidos *Just-In-Time* (JIT), evitando longos períodos de espera, que muitas das vezes colocam em causa a operacionalidade das UN, e ainda, elevadas quantidades de *stock* em armazém, simplificando assim toda a cadeia de abastecimento. Um exemplo prático do acima referido diz respeito a navios da Marinha dos EUA, um dos principais utilizadores da impressão 3D, que recorrem a esta tecnologia para a produção de sobressalentes a bordo, recorrendo a uma base de dados com os modelos digitais de diversos sobressalentes já certificados, não sendo necessário alterar o planeamento para aquisição da peça (Collins, A., 2021). Como podemos verificar na Figura 16, analisando a imagem da esquerda para a direita, é possível observar um parafuso impresso em 3D; de seguida o parafuso a substituir, uma vez que se encontra partido; e por fim, o parafuso final, fabricado para um conjunto de portas de hangar, através de uma impressora 3D a bordo do porta-aviões da classe Nimitz USS John C. Stennis (CVN 74);

¹⁶ Traduzido de *Compound Annual Growth Rate* – constitui um dos principais indicadores utilizados para avaliar a rentabilidade, e a viabilidade, de investimentos em diferentes períodos de tempo. Trata-se então da “*taxa de retorno medida durante o período do investimento, considerando que os lucros foram constantes e reaplicados a cada ciclo*” (Corporate Finance Institute (n.d.)). Posto isto, prevê-se que entre 2022 e 2027, o mercado de impressão 3D na indústria Aeroespacial e da Defesa apresente um crescimento de, aproximadamente, 24%, pressupondo que os lucros resultantes de cada ano foram reinvestidos no seguinte.

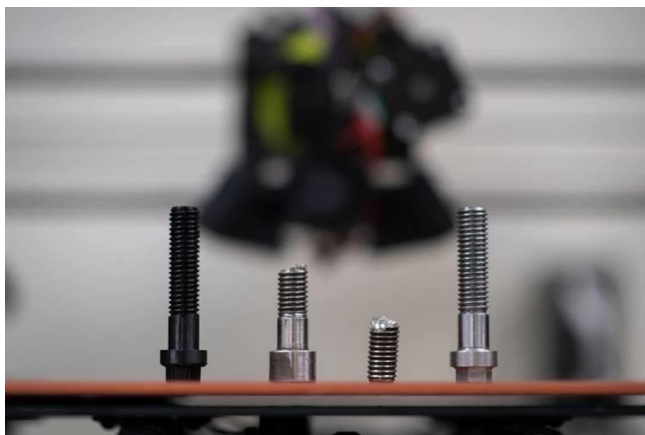


Figura 16 – Utilização da impressão 3D para a produção de sobressalentes.

Fonte: <https://www.marinelink.com/news/us-navy-d-printing-future-441633>

- Reparação de equipamentos militares funcionais: através da utilização de tecnologias como deposição direta de energia (DED¹⁷) é possível reparar e restaurar equipamentos militares, como por exemplo, as superfícies desgastadas das pás das turbinas e outros equipamentos de ponta (Autonomous Manufacturing, 2018), como demonstrado na

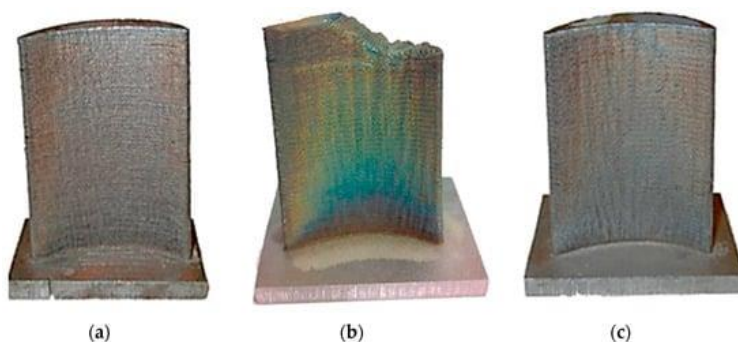


Figura 15 – Reparação de pá de turbina utilizando a impressão 3D.

Fonte: <https://doi.org/10.3390/app9163316>

Figura 15 ((a) pá de turbina impressa em 3D, através de DED; (b) lâmina de turbina danificada; (c) lâmina restaurada através de impressão 3D.

¹⁷ Sigla do termo em inglês, “Direct Energy Deposition”



2.1.8 Vantagens da Impressão 3D para a produção de sobressalentes

- **Sustentabilidade**

- Menos desperdício: contrariamente aos métodos de produção convencionais que envolvem um elevado desperdício de recursos, a produção em 3D apenas utiliza o material necessário para a produção do artigo, uma vez que este é sobreposto camada a camada até obter o produto final, gerando pouco ou nenhum desperdício.

- **Eficiência**

- Simplificação da cadeia de abastecimento: com a introdução da impressão 3D na cadeia de abastecimento esta tornar-se-á mais simples, uma vez que serão descartadas algumas etapas desnecessárias no novo fluxo da cadeia de abastecimento, tornando-a mais eficiente e pronta para a satisfação das necessidades das UN (Walter et al., 2004);
- Adoção da produção JIT: é uma “*filosofia de produção que consiste em produzir apenas o que é necessário e quando é necessário*” (Lobato, J., 2005), permitindo mitigar quaisquer riscos que possam afetar, de forma negativa, a eficácia da satisfação das necessidades das UN. Uma vez que os artigos são produzidos quando necessário, é dispensável a existência de um planeamento de necessidades com uma grande antecedência, muitas vezes difícil de elaborar devido à imprevisibilidade da procura destes artigos, permitindo ao Organismo Abastecedor (OA) satisfazer as necessidades das UN de forma rápida e eficiente, sem colocar em causa a sua operacionalidade e prontidão das mesmas;
- Redução do lead time de manufatura: uma vez que se trata de um método de produção rápido, comparativamente a todo o processo de aquisição ao fornecedor, e o artigo se encontra mais próximo do consumidor final, as UN, o tempo necessário para que este se encontre disponível para entrega será significativamente menor, comparado com o do fornecedor (Oettmeier and Hofmann, 2016; Muir and Haddud 2017);
- Redução de inventário: tendo em conta que apenas se produzem os artigos, quando necessário e na quantidade pedida, existe uma



diminuição da acumulação de *stocks*, que muitas vezes resulta na sua deterioração e obsolescência, levando, consequentemente, a uma redução dos custos de inventário¹⁸ (Holmstroöm et al., 2010; Holmströöm and Partanen, 2014; Liu et al., 2014; Durach, Kurpjuweit, and Wagner, 2017; Ghadge et al., 2018);

- Processo automático e de baixa vigilância: o facto da impressão 3D se tratar de um processo automático e que não requer uma vigilância constante, permite uma maior rentabilização do tempo. Segundo o Diretor da Célula Experimental Operacional de Veículos Não Tripulados (CEOV), CTEN STMEC Pinto Guimarães, tendo o acesso remoto das impressoras num dispositivo móvel, bem como do sistema de vigilância da sala, é possível imprimir artigos a partir de qualquer local. Caso exista algum problema durante o processo de impressão, é possível pará-lo, de forma a evitar o desperdício da matéria-prima.

- ***Mass customization***

- Flexibilidade de *design* sem custos adicionais: ao contrário do que ocorre com os métodos de produção convencionais, com a impressão 3D existe a possibilidade de interagir e alterar o *design* as vezes que forem necessárias para que este fique de acordo com o pretendido, sem custos adicionais significativos, como é possível verificar a partir do Gráfico 1.

¹⁸ Nos custos de inventário encontram-se englobados os custos relacionados com os desperdícios de inventário, isto é, artigos que por se encontrarem há muito tempo nos depósitos se foram degradando, perdendo assim o seu valor e validade, bem como os monos, artigos resultantes de compras de quantidades excessivas que não tiveram escoamento.

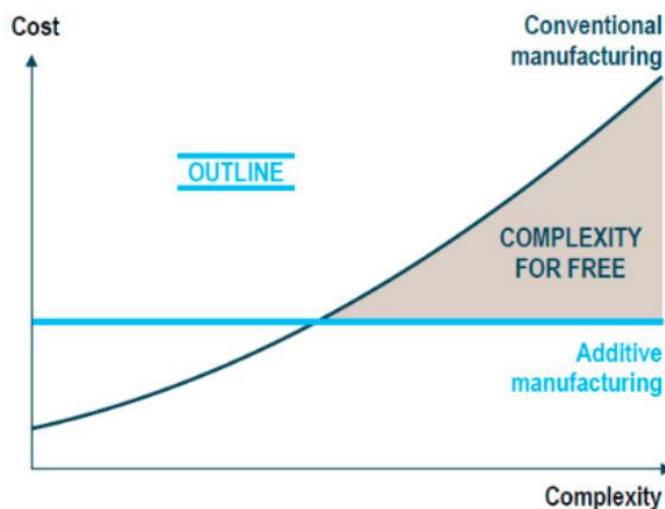


Gráfico 1 - Comparação custo vs. complexidade entre o fabrico aditivo e os métodos de produção convencionais.

Fonte: "3D Metal Printing Technology" Thomas Dusa. L. Venkat Raghavan

- Melhoria continua dos artigos: tendo em conta a liberdade em alterar o *design* sempre que necessário, é possível, com a utilização do artigo, alterá-lo e adaptá-lo às necessidades específicas de cada UN;
- Produção de artigos obsoletos/descontinuados: ao longo dos anos muitos artigos poderão tornar-se obsoletos porque os seus fornecedores já não se encontram disponíveis no mercado, ou porque já não são produzidos, implicando um elevado tempo de espera para a aquisição dos mesmos (Appleton, 2014; Freeman & Paoli, 2015). Como tal, devido à liberdade de *design* torna-se possível produzir este tipo de peças.
- **Produção de pequenas quantidades**
 - Produção económica de pequenas quantidades: contrariamente aos tipos de produção convencional que recorrem a economias de escala, com o objetivo de diminuir o custo unitário de cada peça, a impressão 3D apresenta custos por unidade inferiores na produção de menores quantidades, como demonstrado no Gráfico 2, visto que, “os custos associados ao projeto são constantes para qualquer quantidade, só o custo de material usado é que aumenta” (Relvas, C., 2018).

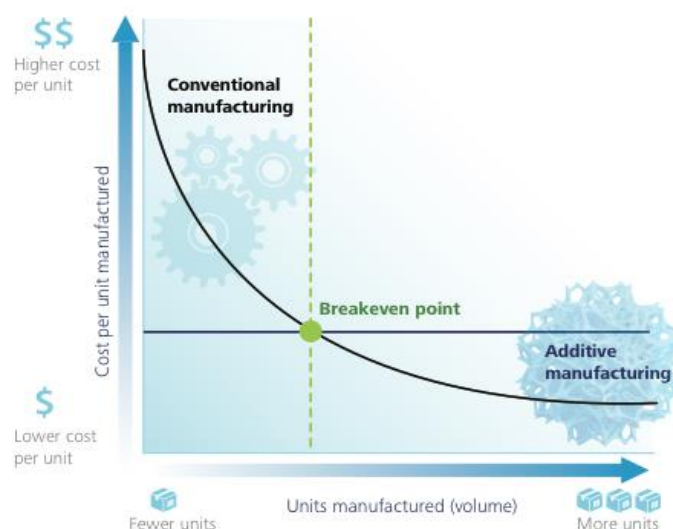


Gráfico 2 - Breakeven point entre a produção convencional e aditiva.

Fonte: Deloitte University Press.

Muitas vezes a DA, de forma a reduzir os custos de aquisição, adquire grandes quantidades de um determinado artigo, levando ao excesso de *stocks* e custos de inventário, visto que não é possível escoar todo o material, parte deste permanece nos depósitos a deteriorar-se. Com a impressão 3D, mesmo que exista a necessidade de um único artigo, é possível a sua produção, sem incorrer em elevados custos, contribuindo para a eficácia e eficiência da satisfação de necessidades.

De seguida apresenta-se a **Error! Reference source not found.** onde se encontram resumidos os pontos acima descritos acerca das vantagens da impressão 3D.

Tabela 5 - Vantagens da impressão 3D.

Fonte: Autora.

Sustentabilidade	Eficiência	Mass Customization	Produção de pequenas quantidades
• Menos desperdício.	• Simplificação da cadeia de abastecimento; • Adoção da produção <i>Just-In-Time</i>; • Redução do <i>lead time</i> de manufatura; • Redução de inventário; • Processo automático e de baixa vigilância.	• Flexibilidade de <i>design</i> sem custos adicionais; • Melhoria contínua dos artigos; • Produção de artigos obsoletos/descontinua dos.	• Produção económica de pequenas quantidades.



2.1.9 Limitações da Impressão 3D

Apesar das vantagens acima referidas, e de se tratar de uma tecnologia com um desenvolvimento notório nos últimos anos, a tecnologia de impressão 3D apresenta ainda algumas limitações, tais como o tamanho dos artigos a imprimir, custo elevado e baixa diversificação dos materiais disponíveis, consistência e qualidade dos artigos produzidos (Coykendall et al., 2014, p. 16), entre outros que serão de seguida abordados.

- Tamanho dos artigos impressos: comparativamente aos métodos de produção tradicional, a impressão 3D possui algumas limitações no que diz respeito ao tamanho dos artigos produzidos, uma vez que se encontram restringidos pelo tamanho da impressora;
- Resistência dos artigos impressos: alguns artigos obtidos através de alguns métodos de impressão 3D possuem uma menor *performance* estrutural comparativamente aos obtidos através dos métodos de fabrico convencionais (Relvas, C., 2018);
- Velocidade da impressão para grandes quantidades: como mencionado anteriormente, a impressão 3D é vantajosa para a obtenção de baixas quantidades de produtos de forma rápida. Contudo, para elevadas quantidades de artigos este método de produção não é uma opção viável devido à sua velocidade de impressão, requerendo um período de tempo, que, na maioria das situações, seria superior ao *lead-time* dos fornecedores. É de referir ainda que, os custos de produção em 3D para elevadas quantidades de artigos podem ser bastante elevados, comparativamente aos métodos de produção convencionais, uma vez que, como já referido, dependem da quantidade de material utilizado;
- Certificação dos artigos impressos: uma das maiores barreiras para a impressão 3D, mais concretamente na área dos sobressalentes, é a dificuldade em certificar estes artigos de forma a garantir que possuem as características necessárias e adequadas para que não coloquem em causa a integridade dos sistemas ou equipamentos onde serão utilizados (*Additive Accelerator*, 2020). Caso a Marinha decidisse adotar a impressão 3D para a produção de sobressalentes este seria o



principal desafio uma vez que seria necessário definir qual a entidade responsável para certificação dos artigos impresso;¹⁹

- Propriedade intelectual: tendo em conta que a tecnologia 3D se encontra cada vez mais acessível ao público, maior será a probabilidade de determinadas firmas ou indivíduos replicarem determinados artigos patenteados, através de um *scanner* 3D ou de um ficheiro CAD, facilmente partilhado numa plataforma de *3D printing* (Karagöl, 2015). Assim sendo, para que a Marinha possa produzir artigos sujeitos a patentes será necessário um acordo com o *Original Equipment Manufacturer* (OEM), de forma que não haja ilegalidades. Atualmente, este ainda é um assunto pouco estudado, de maneira que dificulta o desenvolvimento de novos modelos de negócio (Deloitte, 2020).

Contudo, segundo (Coykendall et al., 2014, p. 16) “*os contínuos avanços na tecnologia de produção aditiva e na ciência dos materiais²⁰ provavelmente abordarão algumas dessas limitações e espera-se que impulsionem uma adoção mais ampla do fabrico aditivo na indústria da Defesa*”.

De seguida apresenta-se a , onde se encontram sintetizadas as vantagens e limitações da impressão 3D acima referidas.

¹⁹ A temática da certificação dos sobressalentes não será aprofundada na dissertação de mestrado.

²⁰ Traduzido de “*materials science*”



Tabela 6 - Vantagens e limitações da impressão 3D

Fonte: Autora

Vantagens	Limitações
Sustentabilidade: • Menos desperdício.	Velocidade da impressão para grandes quantidades;
Eficiência: • Simplificação da cadeia de abastecimento; • Adoção da produção <i>Just-In-Time</i>; • Redução do <i>lead-time</i> de manufatura; • Redução de inventário.	Certificação dos artigos impressos;
<i>Mass Customization</i> : • Flexibilidade de <i>design</i> sem custos adicionais; • Melhoria contínua dos artigos; • Produção de artigos obsoletos/descontinuados.	Propriedade intelectual;
Produção de pequenas quantidades: • Produção econômica de pequenas quantidades.	Tamanho dos artigos impressos;
	Resistência dos artigos impressos.



Estudo para a seleção dos artigos viáveis para produção em 3D

- 3.1 Critério para a seleção dos artigos para impressão 3D
- 3.2 Cálculo do *lead time* de manufatura
- 3.3 Análise da viabilidade estrutural dos sobressalentes
- 3.4 Modulação dos artigos selecionados



3 Estudo para a seleção dos artigos viáveis para produção em 3D

Neste capítulo é esplanada a vertente prática realizada, nomeadamente a análise da informação e aplicação de critérios para a escolha dos sobressalentes viáveis para a produção em 3D, bem como os resultados da modulação dos mesmos. Como tal, num primeiro momento será apresentado o critério de seleção escolhido, bem como a respetiva justificação. De seguida, serão explicados o processo de obtenção da informação para análise e os resultados obtidos após a aplicação do critério de seleção. Por fim, é explicado o processo de escolha dos sobressalentes, tendo em conta a sua viabilidade estrutural, e os resultados obtidos da modulação dos mesmos.

3.1 Critérios para a seleção dos artigos para impressão 3D

De modo a garantir um critério de seleção fiável, foram realizadas diversas entrevistas a alguns dos responsáveis de alguns Departamentos da Marinha, listados abaixo na .

Tabela 7 - Listagem das pessoas entrevistadas e respetivos cargos

Fonte: Autora

Unidade	Posto/Classe/Nome	Cargo
Direção de Abastecimento	COM AN António Pires	Diretor de Abastecimento
	CMG AN Anacleto do Carmo	Subdiretor de Abastecimento
	CFR AN Pereira Lourenço	Chefe da Divisão Operacional e Técnica (CDOT)
Direção de Navios	COM ECN Rodrigues Mateus	Chefe do Programa de Modernização das Fragatas Chefe do Programa das Fragatas de Nova Geração
Centro Experimental Operacional da Marinha	CMG M Gonçalves Simões	Diretor
	1SAR ETC Lázaro Peralta	
NRP D. Francisco de Almeida	1TEN AN Gomes Manteiga	Chefe do Departamento de Logística



Procedeu-se a uma análise das entrevistas realizadas (apresentada no Apêndice A – Análise das entrevistas realizadas), e, tendo em conta os dados disponíveis, concluiu-se que o principal critério a ter em conta para a seleção de artigos para a impressão 3D deverá ser o *lead-time* de manufatura, dado que, muitas das vezes não vão de encontro ao planeamento das UN, constituindo um fator crítico para a operacionalidade das mesmas.

De seguida, e como critério secundário, foi selecionado o custo de aquisição do artigo, uma vez que, ao selecionar artigos com um maior *lead-time* de manufatura e com um elevado custo de aquisição, será possível alcançar uma maior eficiência tanto a nível operacional, como financeiro.

3.2 Cálculo da *lead-time* de manufatura

No âmbito da área de material G – sobressalentes mecânicos e eletromecânicos – foram escolhidos os artigos requisitados através de EMREQ e os adquiridos diretamente ao mercado pelas UN, uma vez que, constituem sobressalentes que o OA não teve capacidade de fornecer.

Partindo destes pressupostos, e com o apoio do CDOT e do Chefe da Secção de Fardamento, 2TEN Vilarinho Filipe, foi possível obter duas bases de dados: uma referente aos sobressalentes requisitados por meio de EMREQ e a outra referente aos sobressalentes adquiridos diretamente ao mercado, abrangendo um total de 631 sobressalentes diferentes.

Tendo em conta que ambas as bases de dados não tinham toda a informação necessária para o cálculo do *lead time* de manufatura²¹ recorreu-se ao Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional (SIGDN) para a obtenção da mesma (processo esquematizado no Esquema 2).

²¹ Importante relembrar que para calcular o *lead time* de manufatura são necessárias a data do pedido de compra e a data de entrada do material em armazém.

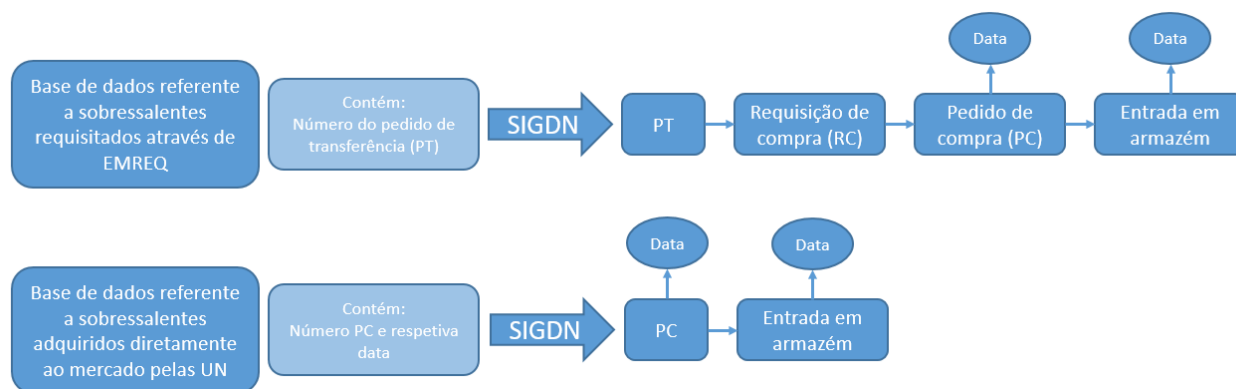


Figura 17 - Obtenção da informação para o cálculo do lead time de manufatura

Fonte: Autora

Partindo das bases de dados complementadas com a informação retirada do SIGDN, procedeu-se ao cálculo do *lead time* de manufatura para ambas, obtendo-se os resultados demonstrados no Gráfico 3²².

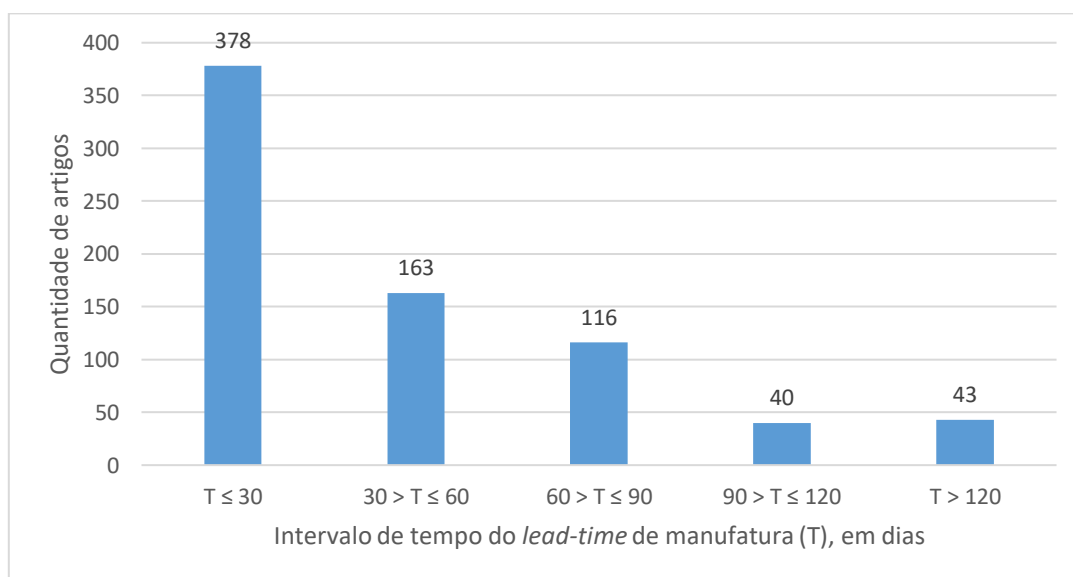


Gráfico 3 - Cálculo do lead time de manufatura (T).

Fonte: Autora.

²² De referir que nem todos os sobressalentes considerados para o cálculo do *lead time* de manufatura são viáveis para a produção em 3D do ponto de vista técnico, análise que será realizada mais adiante no trabalho.



Da análise do Gráfico 3 é possível concluir que à medida que o *lead-time* de manufatura aumenta existe uma diminuição na quantidade de artigos, salvo exceção de determinados artigos requisitados através de EMREQ.

3.3 Análise da viabilidade estrutural dos sobressalentes

Com o apoio da Direção de Navios (DN) procedeu-se à análise dos sobressalentes, por ordem decrescente de *lead-time*, de forma a verificar se estes são estruturalmente passíveis de ser impressos em 3D, tendo em conta os seguintes aspetos:

- Materiais dos sobressalentes – apenas foram tidos em conta artigos compostos por um único tipo de material, por forma a simplificar a estimativa de custo e tempo da produção dos sobressalentes;
- Natureza do sobressalente – uma vez que todos os artigos em análise pertencem à área de material G, englobando sobressalentes de natureza mecânica e eletromecânica, foi necessário selecionar apenas os sobressalentes mecânicos, visto que estes são mais simples, do ponto de vista estrutural, para a aplicação da impressão 3D;
- Natureza dos componentes – foram apenas selecionados os sobressalentes singulares, isto é, que não englobem mais do que um componente, de forma a simplificar o processo de modulação.

Concluiu-se assim que apenas 179 sobressalentes, dos 631 analisados, cumpriam com os requisitos necessários.

De seguida, através do *NATO Stock Number* (NSN) e do Número Nacional de Identificação do Artigo (NNIA), recorreu-se ao *NATO Master Catalogue of References for Logistics* (NMCRL) e ao Sistema Integrado de Catalogação da Marinha (SICMAR), por forma a obter informações acerca dos sobressalentes, como por exemplo, as suas dimensões, materiais e os equipamentos a que pertencem, essenciais para a criação do modelo digital, e respetiva impressão em 3D.

Durante esta fase surgiram três situações que colocaram em causa a existência de informação diversificada, nomeadamente:

- Cerca de 26% dos artigos não possuíam NSN, não sendo possível utilizar o NMCRL para procurar informações concretas acerca das características estruturais dos mesmos;
- Apesar de possuírem NSN, não existe informação relativa às características de, aproximadamente, 48% dos artigos, visto que esta não foi disponibilizada pelos fornecedores dos mesmos no NMCRL;
- Cerca de 6% dos artigos encontravam-se no SICMAR com a designação de “artigo previsivelmente sem consumo”, não sendo considerados para a análise.

Desta forma, foi possível adquirir informação para a modulação digital de 57 artigos diferentes.

Por fim, recorreu-se ao SIGDN para verificar quantos dos 57 artigos se encontravam em depósito, por forma a proceder ao registo fotográfico de cada um (Apêndice B – Registo fotográfico dos sobressalentes selecionados), e assim facilitar o processo de modulação. Concluiu-se assim que destes 57 artigos, 10 se encontravam em depósito.

Encontra-se representado no Gráfico 4 a variação da quantidade de sobressalentes ao longo de cada etapa acima referida.

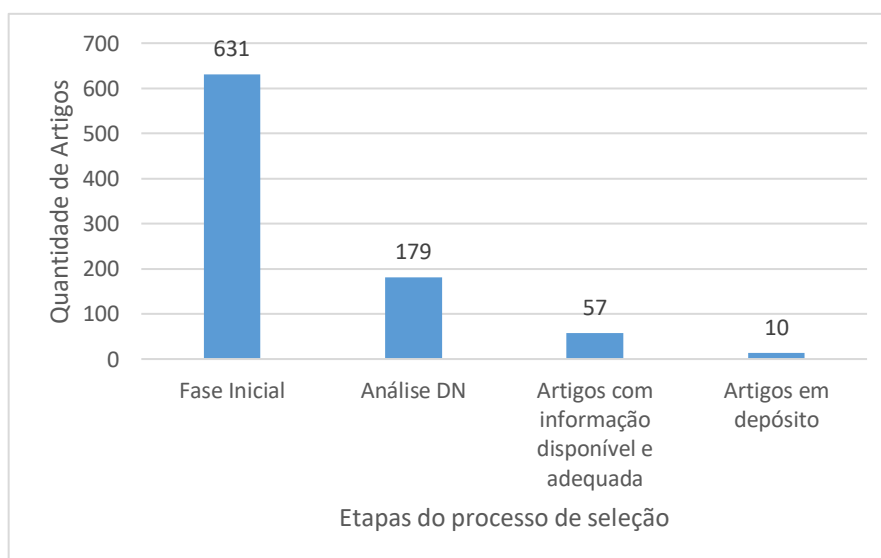


Gráfico 4 - Variação da quantidade de sobressalentes ao longo do processo de seleção dos sobressalentes.

Fonte: Autora.



3.4 Modulação dos artigos selecionados

Com o apoio do 1SAR ETC Lázaro Peralta²³, do Centro Experimental Operacional da Marinha (CEOM), procedeu-se à modulação dos 10 artigos previamente selecionados, através do *software Fusion 360*.

Posteriormente, através dos *softwares Eiger* e *PreForm*, foi possível obter uma estimativa dos custos de produção, especificados no Apêndice D – Cálculos para os custos de impressão, e ainda o tempo dispensado para o processo de modulação e de impressão, obtendo-se os resultados apresentados na .

Para a escolha dos materiais a utilizar foram tidos em consideração todos os que se encontram disponíveis na plataforma *Markforged*, utilizada para este fim (Apêndice E – Materiais tidos em consideração para as estimativas de tempo e custo).

²³ A quem foi realizada, dada a sua vasta experiência e conhecimento na área da impressão 3D, uma entrevista direcionada para os aspetos técnicos e práticos da mesma, apresentada no Apêndice C – Entrevista realizada ao 1SAR ETC Lázaro Peralta.



Tabela 8 - Resultados da modulação dos artigos selecionados

Fonte: Autora

Designação do artigo	NNA	Lead-Time (em dias)	Custo de aquisição	Tempo para modulação	Tempo para impressão 3D ²⁴	Custo de impressão 3D ²⁵	Tecnologia de impressão 3D
Parafuso de cabeça sextavada	5305121240498	213	0,12€	6min	46h26min	17,11€ (9,03€+8,08€)	FFF
Anilha plana	5310012031687	136	0,40€	3min	15 min	0,36€ (0,32€+0,04€)	SLS
Troço em aço	5315006878566	136	9,20€	10min	17h28min	3,91€ (0,87€+3,04€)	FFF
Parafuso	5305999008770	124	201,54€	6min	22h24m	12,44€ (8,54€+3,90€)	FFF
Junta tórica	5331995264409	110	12,36€	3min	1h15min	2,44€ (2,22€+0,22€)	SLS
Anel de freio interior	5325123198882	84	1,10€	3min	21h29min	9,82€ (6,08€+3,74€+)	FFF
Junta	5330123152474	84	20,18€	8min	2h23min	3,77€ (3,36€+0,41€)	SLS
Junta de vedação	5330123226752	42	125,15€	13min	25h19min	34,35€ (29,94€+4,41€)	FFF
Junta de vedação	5330121564852	35	0,64€	4min	18h23min	7,46€ (4,26€+3,20€)	FFF
Parafuso de cabeça sextavada	5305123490996	10	23,27€	6min	39h14min	22,18€ (15,53€+6,65€)	FFF

²⁴ O tempo para a impressão 3D engloba o tempo de impressão, propriamente dito, o tempo necessário para eventuais acabamentos finais, como por exemplo lavagem de quaisquer resíduos excedentes, e ainda o tempo de arrefecimento da câmara de impressão, durante o qual não se poderá retirar o artigo da mesma.

²⁵ Para o custo da impressão 3D são tidos em conta os custos diretos inerentes à impressão 3D, nomeadamente, o custo do material utilizado e o custo da eletricidade para a produção do artigo, sendo apresentados por esta ordem na , e os seus cálculos no Apêndice D – Cálculos para os custos de impressão.





Análise e discussão dos resultados

- 4.1 Análise da viabilidade dos artigos selecionados
- 4.2 Análise de custos da impressão 3D
- 4.3 Edificação da capacidade de manufatura aditiva

4 Análise e discussão dos resultados

Neste capítulo pretende-se analisar os resultados obtidos, listados na , no capítulo anterior, por forma a obter resposta à questão central deste trabalho, através da comparação dos *lead-time* de manufatura com o tempo de impressão, e do custo de aquisição ao fornecedor com o custo de impressão.

4.1 Análise dos custos da impressão 3D

Por forma a analisar a viabilidade económica das peças selecionadas, será calculado o *break-even point* das mesmas de modo a obter a quantidade necessária de peças impressas para igualar o custo da impressora.

Como tal, é necessário:

1. Calcular o custo de impressão da peça: o primeiro passo para determinar o *break-even point* é calcular o custo de material por peça. Os *softwares Eiger e PreForm*, através da submissão do modelo digital, previamente realizado através do *Fusion 360*, permite ao utilizador obter uma estimativa do tempo de impressão e o respetivo custo, obtendo-se os resultados apresentados na .

Tabela 9 - Custo por peça dos sobressalentes analisados

Fonte: Autora

Designação do artigo	Custo por peça (€/peça)
Parafuso de cabeça sextavada	17,11€
Anilha plana	0,36
Troço em aço	3,91€
Parafuso	12,44€
Junta tórica	2,44€
Anel de freio interior	9,82€
Junta	3,77€
Junta de vedação	34,35€
Junta de vedação	7,46€
Parafuso de cabeça sextavada	22,18€

2. Determinar o custo de um método de produção alternativo: após calculado o custo de material por peça, é possível compará-lo ao de outros métodos de



produção, neste caso será tido em conta o custo de aquisição ao fornecedor, e verificar quais as peças cuja impressão resulta em ganhos ou prejuízos ().

Tabela 10 - Custo de produção utilizando a impressão 3D e o custo de aquisição ao fornecedor

Fonte: Autora

Designação da peça	Custo por peça (1) (€/peça)	Custo por peça (Impressão 3D) (2) (€/peça)	Ganhos por peça ²⁶ (1) – (2)
Parafuso de cabeça sextavada	0,12€	17,11€	- 16,99€
Anilha plana	0,40€	0,36	0,04€
Troço em aço	9,20€	3,91€	5,29€
Parafuso	201,54€	12,44€	189,10€
Junta tórica	12,36€	2,44€	9,92€
Anel de freio interior	1,10€	9,82€	- 8,72€
Junta	20,18€	3,77€	16,41€
Junta de vedação	125,15€	34,35€	90,80€
Junta de vedação	0,64€	7,46€	- 6,82€
Parafuso de cabeça sextavada	23,27€	22,18€	1,09€
Total dos ganhos			280,12€

Assim, é possível verificar que com a utilização da impressão 3D para a produção destas peças seria possível obter uma poupança de 280,12€, comparativamente à aquisição das mesmas ao fornecedor.

3. Determinar o *break-even point*: nesta fase, e partindo dos ganhos resultantes da utilização da impressão 3D ao da aquisição ao fornecedor, é possível estimar quantas peças são necessárias produzir para atingir o *break-even point*, isto é, para igualar o custo da impressora 3D.

- Sobressalentes plásticos: para este tipo de sobressalentes, será futuramente adquirida pela Marinha a impressora *Fuse1* da empresa *Formlabs*, com um custo de 34.503€, pelo que:

²⁶ Os números que se encontram entre parêntesis representam uma quantia negativa.



Tabela 11 - Break-even point para as peças plástica

Fonte: Autora

Designação da peça	Quantidade de peças a produzir de forma a atingir o break-even point
Anilha plana	$\frac{34\,503\text{€}}{0,04\text{€}} = 862.575$ peças
Junta tórica	$\frac{34\,503\text{€}}{9,92\text{€}} = 3.478$ peças
Junta	$\frac{34\,503\text{€}}{16,41\text{€}} = 2.102$ peças

- Sobressalentes metálicos: para este tipo de sobressalentes foi sugerida, conforme Apêndice C – Entrevista realizada ao 1SAR ETC Lázaro Peralta, a impressora *MetalX* da empresa *Markforged*, com um custo de 165.590€, pelo que:

Tabela 12 - Break-even point para as peças metálicas

Fonte: Autora

Designação da peça	Quantidade de peças a produzir de forma a atingir o break-even point
Troço em aço	$\frac{165\,590\text{€}}{5,29\text{€}} = 31.302$ peças
Parafuso	$\frac{165\,590\text{€}}{189,10\text{€}} = 875$ peças
Junta de vedação	$\frac{165\,590\text{€}}{90,80\text{€}} = 1.823$ peças
Parafuso de cabeça sextavada	$\frac{165\,590\text{€}}{1,09\text{€}} = 151.917$ peças

Por fim, de modo a analisar a viabilidade no âmbito do *lead-time*, apresenta-se a , onde se encontra a diferença entre o tempo de entrega do fornecedor, e o tempo necessário para todo o processo de impressão, para cada uma das peças seleccionadas.



Tabela 13 - Análise comparativa do tempo de entrega do fornecedor e o tempo necessário para todo o processo de impressão 3D

Fonte: Autora

Designação da peça	Tempo de entrega do fornecedor (1)	Tempo necessário para todo o processo de impressão 3D (2)	Tempo ganho com a adoção da impressão 3D (1) – (2)
Parafuso de cabeça sextavada	213 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 5 112 horas	$\frac{6 \text{ min} + 26 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 46 \text{ h}$ = 46,53 horas	5 065,47 horas (≈ 211 dias)
Anilha plana	136 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 3 264 horas	$\frac{3 \text{ min} + 15 \text{ min}}{60 \text{ min}}$ = 0,30 horas	3 263,7 horas (≈ 135 dias)
Troço em aço	136 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 3 264 horas	$\frac{10 \text{ min} + 28 \text{ min}}{60 \text{ min}}$ + 17 h = 17,63 horas	3 246,37 horas (≈ 135 dias)
Parafuso	124 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 2 976 horas	$\frac{6 \text{ min} + 24 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 22 \text{ h}$ = 22,50 horas	2 953,5 horas (≈ 123 dias)
Junta tórica	110 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 2 640 horas	$\frac{3 \text{ min} + 15 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 1 \text{ h}$ = 1,30 horas	2 638,7 horas (≈ 109 dias)
Anel de freio interior	84 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 2 016 horas	$\frac{3 \text{ min} + 29 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 21 \text{ h}$ = 21,53 horas	1 994,47 horas (≈ 83 dias)
Junta	84 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 2 016 horas	$\frac{8 \text{ min} + 23 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 2 \text{ h}$ = 2,52 horas	2013,48 horas (≈ 83 dias)
Junta de vedação	42 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 1 008 horas	$\frac{13 \text{ min} + 19 \text{ min}}{60 \text{ min}}$ + 25 h = 25,53 horas	982,47 horas (≈ 40 dias)
Junta de vedação	35 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 840 horas	$\frac{4 \text{ min} + 23 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 18 \text{ h}$ = 18,45 horas	821,55 horas (≈ 34 dias)
Parafuso de cabeça sextavada	10 dias $\times 24 \text{ h/dia}$ = 240 horas	$\frac{6 \text{ min} + 14 \text{ min}}{60 \text{ min}} + 39 \text{ h}$ = 39,33 horas	200,67 horas (≈ 8 dias)
Total dos lead-time dos fornecedores	23 376 horas (≈ 974 dias ≈ 2 anos e 7 meses)	Total dos ganhos	23 180,38 horas (≈ 965 dias ≈ 2 anos e 7 meses)

É assim possível verificar, partindo da análise da , que com a adoção da impressão 3D é possível obter ganhos de *lead-time* semelhantes ao tempo de espera para todas as peças.

Na encontram-se resumidas as conclusões obtidas, através de um código de cores, onde o:

- Verde corresponde à classificação da impressão 3D como sendo viável;
- Vermelho corresponde à classificação da impressão 3D como não sendo viável.

Tabela 14 - Classificação dos diferentes sobressalentes relativamente ao seu tempo e custo de impressão

Fonte: Autora

Designação do artigo	Tempo	Custo
Parafuso de cabeça sextavada		
Anilha plana		
Troço em aço		
Parafuso		
Junta tórica		
Anel de freio interior		
Junta		
Junta de vedação		
Junta de vedação		
Parafuso de cabeça sextavada		

4.2 Análise da viabilidade dos artigos selecionados

Tendo em conta os resultados acima obtidos, é possível concluir que:

- Partindo da análise da , no âmbito económico, é possível concluir que a impressão 3D se apresenta como uma opção viável, uma vez que, para apenas 30% dos artigos apresentados esta não é a opção mais económica, comparativamente aos preços de aquisição ao fornecedor;
- A grande vantagem com a adoção da impressão 3D seria a redução drástica dos *lead-time* de manufatura, com um ganho de, aproximadamente, 2 anos e 6 meses, como demonstrado na . Assim, com a implementação desta capacidade seria possível agilizar o processo de satisfação das necessidades das UN, e



consequentemente, aumentar a prontidão das mesmas, fator essencial para o cumprimento das missões da Marinha;

- Apesar de existir uma poupança de apenas 280,12€ com a adoção da impressão 3D, e de ser necessária a produção de uma elevada quantidade de peças para atingir o *break-even point*, é necessário ter em conta que apenas foram consideradas 10 peças de um total de 182 816²⁷ sobressalentes catalogados da área G, representando uma amostra de 0,0015%;
- Uma possível solução para as peças que não apresentam vantagem económica com a utilização da impressão 3D, seria equacionar a impressão da peça utilizando materiais alternativos, mais baratos, semelhantes ao material inicial e que ofereçam uma garantia de resistência igual, como uma forma de substituição, até à chegada da peça adequada. Assim, seria possível diminuir a inoperabilidade das UN causada pela falta da peça;
- Para a produção dos artigos selecionados é necessária a aquisição de uma impressora 3D para peças metálicas, tendo em conta que, para peças plásticas já se encontra em processo de aquisição uma impressora.

É ainda necessário ter em conta que:

- Como referido anteriormente, estes artigos representam uma ínfima parte dos sobressalentes passíveis de serem impressos em 3D, não demonstrando a potencial versatilidade característica das impressoras 3D;
- Dado os resultados obtidos para uma amostra pouco significativa do sobressalentes existentes, existe um elevado potencial para a aplicação da impressão 3D nesta área de material;
- Os cálculos, apesar de realizados para todos os sobressalentes, apenas tiveram em conta a produção de uma única peça (tipo e quantidade), pelo que, seria de esperar as conclusões obtidas no âmbito económico. Adquirir uma impressora 3D para produzir um único artigo nunca irá valer a pena o investimento, contudo, quantas mais peças e designs diferentes forem impressas mais rápido será o seu retorno, recorrendo-se assim a uma economia de escala (Markforged, Inc., n.d.).

²⁷ Informação fornecida Divisão de Catalogação do Material (DCM) e referente a 30 de maio de 2022.



Conclusão

5.1 Considerações finais

5.2 Limitações do trabalho

5.3 Recomendações para trabalhos futuros

5 Conclusão

Neste último capítulo pretende-se apresentar as conclusões, relativas à viabilidade da aplicação da impressão 3D para a produção de sobressalentes, decorrentes dos resultados obtidos da análise de dados realizada no Capítulo 3.

Assim, este capítulo encontra-se dividido em três partes: num primeiro momento é realizada uma análise sumária do trabalho realizado, e de seguida serão referidas as limitações encontradas durante a realização deste trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros no âmbito da manufatura aditiva.

5.1 Considerações finais

O desenvolvimento deste trabalho teve em consideração a questão central inicialmente proposta, *“É viável a integração da tecnologia de impressão 3D para a produção de sobressalentes para as Unidades Navais na Direção de Abastecimento.”*, tendo sido formulado um objetivo central como meio para obter uma resposta à mesma, *“Obter evidências que permitam verificar a viabilidade da introdução da impressão 3D na produção de sobressalentes”*.

Por forma a cumprir o OE1 - *“Formular os critérios que serão aplicados para a seleção dos sobressalentes candidatos à produção em 3D”*, foram realizadas entrevistas a diversos responsáveis de alguns dos Departamentos de Marinha, cuja estrutura e resultados se encontram no Apêndice A – Análise das entrevistas realizadas, e ainda no primeiro subcapítulo do capítulo 3 deste trabalho.

De seguida no âmbito do OE2 – *“Analisar, partindo de uma base de dados requisitada à Direção de Abastecimento, quais os artigos viáveis à produção em 3D”*, foi necessária a solicitação de duas bases de dados à DA, relativas às requisições urgentes e aquisições diretas ao mercado de sobressalentes da área de material G. De seguida, procedeu-se ao cálculo do *lead-time* de manufatura dos 631 artigos presentes nas duas bases de dados anteriormente referidas, através da informação contida nestas e de informação complementar obtida através do SIGDN. Com o apoio da DN, foram estabelecidos três critérios para a seleção de artigos viáveis para impressão 3D (materiais dos sobressalentes, natureza dos sobressalentes e natureza dos componentes), que foram

posteriormente aplicados aos artigos das bases de dados por ordem decrescente de *lead-time* de manufatura, concluindo-se que 179 sobressalentes reuniam as características necessárias para se proceder à sua impressão em 3D. Seguidamente, recorreu-se ao NMCRL e ao SICMAR de modo a obter as características e especificações da maior quantidade possível de artigos, obtendo-se informação acerca de 57 artigos. Por fim, verificou-se quantos destes se encontravam nos depósitos da DA para o seu registo fotográfico, chegando-se ao resultado final de 10 sobressalentes. Considera-se que este procedimento, abordado no Estudo para a seleção dos artigos viáveis para produção em 3D, foi um dos mais trabalhosos devido à elevada quantidade de dados a analisar e à falta de conhecimentos relativos a ferramentas utilizadas para este efeito.

Para o cumprimento do OE3 – “*Estimar o tempo e custos de impressão em 3D e compará-los com o lead-time de manufatura e o custo de aquisição ao fornecedor, respetivamente*”, procedeu-se à modulação dos 10 artigos selecionados, através do *software Fusion 360*, e ao cálculo do tempo de impressão²⁸ e respetivo custo, através dos *softwares Eiger* e *PreForm*, apresentados na . De seguida, no Análise e discussão dos resultados, procedeu-se à comparação do tempo de impressão e do *lead-time* de manufatura, e do custo de impressão e do custo de aquisição ao fornecedor.

No OE4 – “*Avaliar se é necessária a aquisição de novos meios de impressão 3D para a produção dos sobressalentes analisados*”: após verificar os materiais das peças selecionadas, e de obter informação acerca das intenções de aquisição de impressoras 3D por parte da Marinha, foi possível concluir que apenas é necessária a aquisição de uma impressora de metais, para a impressão de alguns dos artigos selecionados.

Por fim, considera-se importante referir que, dada a falta de conhecimento na área da mecânica por parte da autora, é possível que:

- Determinados artigos considerados como não viáveis para a impressão 3D, possam ser impressos;

²⁸ Como referido anteriormente, o tempo de impressão engloba o tempo de modulação, o tempo de impressão propriamente dito, o tempo de arrefecimento da câmara de impressão, durante o qual o artigo impresso não pode ser retirado da mesma, e o tempo necessário para eventuais acabamentos finais.

- Existam materiais mais indicados para determinados sobressalentes, permitindo obter melhores resultados no âmbito dos custos de impressão.

Contudo, e pela razão anteriormente referida, decidiu-se optar por uma abordagem mais simples, que servisse como impulsionadora para trabalhos futuros nesta área, realizados por indivíduos com um maior conhecimento da mesma.

5.2 Limitações do trabalho

Durante a realização da presente dissertação as principais limitações encontradas foram:

- Análise de dados: devido à elevada quantidade de dados a analisar e à falta de conhecimentos de ferramentas para este efeito, como por exemplo o *Power BI* e o *Power Automate*, e até mesmo do *Excel*, esta tarefa foi uma das mais difíceis e *time consuming*;
- Descentralização da informação: relacionado com o primeiro ponto, verificou-se a inexistência de uma base de dados que permitisse obter de forma pronta os tipos de materiais e a funcionalidade de cada sobressalente por forma a simplificar o processo de escolha dos sobressalentes viáveis para impressão 3D;
- Falta de conhecimento técnico para determinadas tarefas: ao longo da elaboração da dissertação de mestrado foram surgindo tarefas, que inicialmente não haviam sido previstas, e que requeriam conhecimentos na área da mecânica, nomeadamente na escolha dos sobressalentes, e na área da modulação digital. Como tal, foi necessário recorrer a terceiros para a realização destas tarefas, levando a um atraso neste processo.

5.3 Recomendações para trabalhos futuros

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram surgindo novas questões e perspetivas que poderão dar origem, ou inspirar, novas dissertações de mestrado no futuro, nomeadamente:

- Estudar a possibilidade e viabilidade de introduzir a produção de peças através da impressão 3D a bordo das UN;



- Estudar a área da certificação dos artigos produzidos em 3D e os seus diferentes métodos, averiguando se a entidade responsável pela certificação deverá ser interna ou externa à Marinha;
- Criar uma base de dados onde se encontre a digitalização dos componentes catalogados, de modo a facilitar o processo de impressão 3D, através do fornecimento de informações relevantes para o mesmo, como por exemplo, modelo digital, materiais e as propriedades do artigo, bem como a necessidade de acabamentos finais;
- Abordar a manufatura aditiva tendo por base o *framework* DOTMLPI (Doutrina, Organização, Treino, Material, Liderança, Pessoal, Infraestruturas). Como demonstrado no Apêndice F – Edificação da capacidade da manufatura aditiva, ao preencher os seus diversos elementos funcionais é possível verificar os diferentes requisitos necessários para a implementação desta nova capacidade.



Referências Bibliográficas

Addictive Accelerator. (n.d.). 3D Printing and Navy Ships – Looking Towards The Future. Addictive Accelerator. Retirado de: <https://amfg.ai/2018/06/19/how-3d-printing-is-transforming-the-defence-industry/>

All3DP. (2021). The Types of 3D Printing Technology of 2022. Retirado de: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

APPLETON, R. W. (2014). *Additive manufacturing overview for the united states marine corps*. Retirado de: <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Autonomous Manufacturing. (2018). How is 3D Printing Transforming the Defence Industry? AMFG. Retirado de: <https://amfg.ai/2018/06/19/how-3d-printing-is-transforming-the-defence-industry/>

Autonomous Manufacturing. (n.d.). Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide - AMFG. AMFG. Retirado de: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/#tab-con-1>

Bouffard, B., & Wolk, J. (2016). (SBIR) Navy - Shipboard Additive Manufacturing (AM)/3D Printing. Navy SBIR / STTR Program. Retirado de: https://www.navysbir.com/n16_1/N161-038.htm

Carvalho, J. C. d. (2020). Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento (3a ed.). Edições Sílabo.

Collins, A. (2021). Navy Reservist Enhances Navy. United States Navy. Retirado de: <https://www.navy.mil/Press-Office/News-Stories/Article/2673192/navy-reservist-enhances-navys-3d-printing-capabilities/>

Commonwealth Digital. (n.d.). The Evolution Of 3D Printing – Commonwealth Digital. Commonwealth Digital Office Solutions – Printer and Copier Sales in Virginia, Maryland, and D.C. Retirado de: <https://commonwealthdigital.com/the-evolution-of-3d-printing/>



Coykendall, J., Cotteleer, M., Holdowsky, J., & Mahto, M. (2014). 3D opportunity for aerospace and defense: Additive manufacturing takes flight. Retirado de: <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3dopportunity-in-aerospace/>

Deal, K. (2017). 3D printing transforms the A&D support chain. Aerospace Manufacturing and Design. Retirado de: <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/3d-printing-transforms-the-ad-support-chain/>

Deloitte (2020) Additive Manufacturing for Spare Parts

Durach, C. F., S. Kurpjuweit, and S. M. Wagner. (2017). “The Impact of Additive Manufacturing on Supply Chains.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 47 (10): 954–971. Retirado de: doi:10.1108/IJPDLM-11-2016-0332.

Ghadge, A., G. Karantoni, A. Chaudhuri, and A. Srinivasan. (2018). “Impact of Additive Manufacturing on Aircraft Supply Chain Performance: A System Dynamics Approach.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 29 (5): 846–865. Retirado de: doi:10.1108/JMTM-07-2017-0143.

Holmström, Jan, J. Partanen, J. Tuomi, and M. Walter. (2010). “Rapid Manufacturing in the Spare Parts Supply Chain: Alternative Approaches to Capacity Deployment.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 21: 687–697. Retirado de: doi:10.1108/17410381011063996.

ISO 898-1, Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread 1

ISO/TC 261, & ASTM COMMITTEE F42. (2015). ISO/ASTM 52900:2015. Retirado de: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en>

Karagöl, B. (2015) *3D Printing: What does it offer and for whom?* Retirado de: http://stps.metu.edu.tr/sites/stps.metu.edu.tr/files/STPS-WP-15-02_0.pdf

Knofius, N., M. C. van der Heijden, and W. H. M. Zijm. (2016). “Selecting Parts for Additive Manufacturing in Service Logistics.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 27: 915–931. Retirado de: doi:10.1108/JMTM-02-2016-0025.



Liu, P., S. H. Huang, A. Mokasdar, H. Zhou. and L. Hou. (2014). “The Impact of Additive Manufacturing in the Aircraft Spare Parts Supply Chain: Supply Chain Operation Reference (Scor) Model Based Analysis.” *Production Planning & Control* 25 (13-14): 1169–1181. Retirado de: doi:10.1080/09537287.2013.808835.

Markforged, Inc. (n.d.). The Economics of 3D Printing. Markforged. Retirado de: <https://markforged.com/resources/blog/economics-of-3d-printing>

Muir, M., and A. Haddud. (2017). “Additive Manufacturing in the Mechanical Engineering and Medical Industries Spare Parts Supply Chain.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 29 (2):372–397.

Oettmeier, K., and E. Hofmann. (2016). “Impact of Additive Manufacturing Technology Adoption on Supply Chain Management Processes and Components.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 27: 944–968. Retirado de: doi:10.1108/JMTM-12-2015-0113.

Rajan, M. V., & Datar, S. M. (2017). *Hornngren's Cost Accounting: A Managerial Emphasis*. Pearson.

Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications*.

Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). What is 3D printing? How does 3D printing work? Retirado de: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#chap>

Total Materia. (2012). Spring Steels: Total Materia Article. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=371>

Vitasek, K. (2013). Supply chain management terms and glossary [Documento PDF]. Retirado de: https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx

Vitasek, K. (2019). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. Council Of Supply Chain Management Professionals.



Walter, M., Holström, J., Tuomi, J. & Yijölä, H. (2004). Rapid manufacturing and its impact on supply chain management. Dublin, Ireland, Proceedings of the Logistics Research Network Annual.

Legislação Nacional

Decreto-Lei n.º 185/2014 de 29 de dezembro. Diário da República n.º 250/2014 – Iª Série. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.

Decreto-Lei n.º 192/2015 de 11 de setembro. Diário da República n.º 178/2015 – Iª Série. Lisboa: Ministério das Finanças.

Decreto-Regulamentar n.º 25/2009 de 14 de dezembro. Diário da República n.º 178/2009 - Iª Série. Lisboa: Ministério das Finanças e da Administração Pública.

Normativos Internos

Despacho do Superintendente do Material n.º 54/16, de 13 de julho. Regulamento Interno da Superintendência do Material.

ITSUF 3, 10 de abril de 2014. Instruções Técnicas da Superintendência dos Serviços Financeiros sobre gestão de ativos de imobilizado na Marinha.



Apêndice A – Análise das entrevistas realizadas

As entrevistas realizadas de foram entrevistas semiestruturadas, composta por seis questões (Q), apresentadas na , e cujo objetivo consiste em aferir qual a opinião de diferentes responsáveis de alguns dos Setores e Departamentos de Marinha acerca da impressão 3D e da sua implementação no ramo.

Tabela 15 - Questões realizadas no âmbito da entrevista.

Fonte: Autora.

Q1	Conhece a impressão 3D? Sabe que é utilizada por outras Marinhas?
Q2	Considera que a Marinha aceitaria bem a introdução da impressão 3D?
Q3	Considera que a impressão 3D seria importante para melhorar a cadeia de abastecimento?
Q4	A impressão 3D seria, numa fase inicial, mais útil numa unidade em terra, ou a bordo das unidades navais?
Q5	Qual a área de material que considera como sendo a mais útil para a aplicação da impressão 3D?
Q6	Quais os critérios que deveriam ser utilizados para selecionar artigos para a produção em 3D?

Após recolha de dados das entrevistas e analisar as respostas dadas, obtiveram-se os seguintes resultados:

- Q1: o conceito de impressão 3D é conhecido por todos os entrevistados, e existe noção de que é utilizado por outras Marinhas. Contudo, apenas alguns dos entrevistados, menos de metade, tem conhecimentos técnicos sobre este método de produção;
- Q2: todos os entrevistados consideram que a impressão 3D já existe em alguns setores da Marinha, está a ser bem aceite e de acordo com a DEM 2022 um dos objetivos é desenvolver e incrementar esta capacidade na Marinha;
- Q3: na generalidade todos os entrevistados consideram que a impressão 3D beneficiaria a cadeia de abastecimento da Marinha:
 - A Marinha tornar-se-ia mais independente relativamente a entidades externas, uma vez que se produziria as peças internamente, dependendo apenas dos fornecedores de matéria-prima para as impressoras 3D (COM AN António Pires (Diretor da DA), CMG AN Anacleto do



Carmo (Subdiretor da DA) e 1TEN AN Gomes Manteiga (CDLOG NRP Bartolomeu Dias);

- Segundo o Sr. Comodoro Rodrigues Mateus, a impressão 3D melhoraria a cadeia de abastecimento a nível de respostas pontuais, uma vez que *“este tipo de produção não é vantajoso para a produção em massa, mas sim para séries de peças urgentes ou obsoletas, e de baixa escala”*.
- Q4: todos os entrevistados consideram que, numa fase inicial, a impressão 3D deveria ser implementada numa unidade em terra, com o objetivo de apoiar as UN;
- Q5: foram mencionadas várias áreas de material como o fardamento e os artefactos, contudo, a área de material que, com a introdução da impressão 3D, beneficiaria mais a Marinha, seria a área dos sobressalentes, uma vez que, segundo o Diretor da DA, Comodoro António Pires, *“constitui a área de material mais crítica, isto é, alberga os problemas mais difíceis de resolver, como por exemplo artigos descontinuados, que por este motivo têm elevados custos de aquisição, e artigos com elevados prazos de fornecimento que muitas das vezes não vão de encontro ao planeamento dos navios”*. Para além das áreas de material, foram ainda referidas como áreas de aplicação, os protótipos operacionais e a I&D&I (Investigação, Desenvolvimento e Inovação);
- Q6: nesta pergunta surgiram respostas variadas, nomeadamente:
 - Criticidade operacional: este critério surge como um critério de seleção, e como um critério de não-seleção, isto é:
 - Alguns dos entrevistados consideram que deveriam ser escolhidos artigos críticos e que coloquem em causa a operacionalidade das UN;
 - Os restantes entrevistados, acreditam que, numa fase inicial da implementação desta capacidade na Marinha, se deveria evitar este tipo de artigos, com o objetivo de evitar questões relacionadas com a certificação dos mesmos.
 - Obsolescência: selecionar artigos que apresentem uma maior dificuldade de obtenção devido às suas especificidades técnicas;



- Consumo frequente e comum a vários navios: selecionar artigos com uma elevada taxa de procura por parte das UN.
- *Lead-Time*: selecionar artigos com um maior *lead-time* de manufatura, visto que colocam em causa os prazos para a manutenção das UN, e consequentemente a operacionalidade das mesmas;
- Custo de aquisição: selecionar artigos com um custo de aquisição ao fornecedor elevado. Segundo o Diretor da DA, “... a Marinha faz requisições pontuais ao fornecedor para a produção de uma determinada peça em que o fornecedor tem que reorganizar a sua produção para a produção da mesma. Como tal, isto reflete-se nos preços de aquisição que se tornam muito elevados, visto que não se recorre a uma economia de escala”.

Apêndice B – Registo fotográfico dos sobressalentes selecionados

Parafuso de cabeça sextavada



Anilha plana



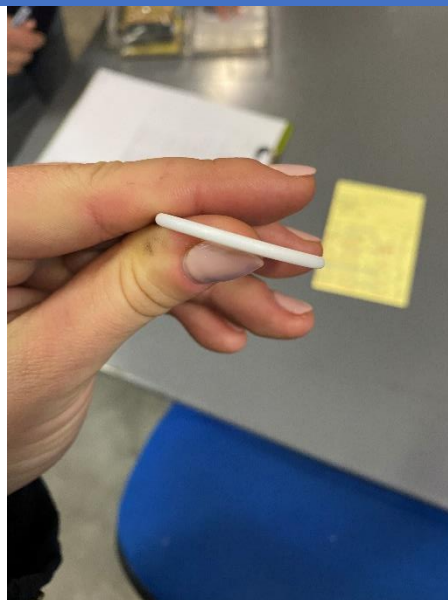
Troço em aço



Parafuso



Junta tórica



Anel de freio interior





Junta



Junta de vedação





Junta de vedação



Parafuso de cabeça sextavada





Apêndice C – Entrevista realizada ao 1SAR ETC Lázaro Peralta

Como já referido, esta entrevista foi elaborada especificamente para o 1SAR ETC Lázaro Peralta de forma a abordar a componente prática e técnica da impressão 3D, nomeadamente, os *softwares* de modulação e de estimativas de tempo e custo de impressão, os vários tipos de impressoras e outros equipamentos utilizados na impressão de determinadas peças, bem como outros tipos de conhecimentos na área.

Como tal, e semelhante à entrevista apresentada no Apêndice A – Análise das entrevistas realizadas, trata-se de uma entrevista semiestruturada, composta por nove questões (Q), apresentadas na juntamente com as respetivas respostas (R).

Tabela 16 - Síntese da entrevista realizada ao 1SAR ETC Lázaro Peralta.

Fonte: Autora.

Q1	Em que áreas poderá a impressão 3D ser utilizada na Marinha?
R1	Sobressalentes e recuperáveis.
Q2	Que <i>software</i> se deverá utilizar para a modulação e estimativa de custos das peças?
R2	Para a modulação das peças deverá utilizar-se o <i>Fusion 360</i> ; para a estimativa de custos de peças em plástico o <i>PreForm</i> ; e para a estimativa de custos de peças em metal o <i>Prusa Slicer</i> . ²⁹
Q3	Que impressoras se deverão utilizar para a impressão de cada tipo de sobressalentes, plásticos e metálicos, de modo a fazer a estimativa do tempo de impressão e os respetivos custos?
R3	Para as peças em plástico poderá utilizar-se a <i>Fuse1</i> , equipamento em vias de aquisição pela Marinha; para as peças metálicas, uma vez que não será adquirida nenhum equipamento para este tipo de peças, por enquanto, poderá utilizar-se a <i>Metal X</i> da <i>Markforged</i> ; para borrachas e elementos

²⁹ Após algumas experiências com este *software* optou-se por utilizar o *Eiger* da *Markforged*, uma vez que era mais *user friendly*, e calculava de forma automática o custo do material utilizado, o que não acontecia com o *PrusaSlicer*, onde era necessário introduzir manualmente o custo do material, sendo muitas vezes necessário realizar conversões que poderiam influenciar o custo final.



	transparentes poderá utilizar-se a <i>Form 3L</i> da <i>FormLabs</i> , uma impressora de resinas.
Q4	Que material plástico se deverá utilizar para a impressão das peças plásticas?
R4	Poderá utilizar-se ou <i>nylon</i> ou ASA ³⁰ (acrilonetrilo estireno acrilato), tendo sempre em conta a finalidade da peça, pelo que se deve escolher sempre o mesmo tipo de plástico da peça original, ou superior.
Q5	Quando na especificação do material da peça apenas é referido “aço” (termo genérico), que material para impressão 3D se deverá utilizar?
R5	Em primeiro lugar deverá ver-se para que fim será peça utilizada e qual o material da mesma, de modo a escolher um material adequado e que garanta a fiabilidade da peça. Assim, para este tipo de peças deverá utilizar-se o aço inoxidável, que é o que oferece uma maior resistência.
Q6	Onde se encontram especificados os preços dos diferentes materiais utilizados para impressão 3D?
R6	No <i>website</i> da <i>Markforged</i> .
Q7	Para uma estimativa credível no <i>software</i> Eiger, que tipo de preenchimento de impressão se deve utilizar nos sobressalentes metálicos?
R7	Preenchimento a 100%.
Q8	Que outros custos deverão ser tidos em conta para além dos custos de material?
R8	Os custos da eletricidade e da depreciação dos equipamentos. No caso das peças em metal também se podem considerar os custos associados à extração de gases.
Q9	Quais são as características próprias das instalações do futuro CPD que deverão ser alvo de manutenção?
R9	Limpeza do espaço, climatização adequada (deverá ser independente entre todos os diferentes tipos de equipamentos) e no caso do SLA deverá existir um certo cuidado com a radiação ultravioleta utilizada, por forma a não inviabilizar nenhuma peça.

³⁰ Sigla do termo em inglês, “*acrylic styrene acrylonitrile*”

Apêndice D – Cálculos para os custos de impressão

Para o cálculo dos custos de impressão foram tidos em conta dois tipos de custos:

- Custos diretos: custos que, como o próprio nome indica, podem ser diretamente alocados ao produto produzido e que são, geralmente, custos variáveis, isto é, variam consoante o fluxo de produção.
 - Custo de materiais: consiste no custo do material utilizado para a impressão, pelo que é calculado a partir da multiplicação entre quantidade de material utilizado e o respetivo custo³¹;
 - Custo da eletricidade: corresponde a uma estimativa da quantidade de energia gasta pela impressora durante o tempo de impressão. Este cálculo pressupõe que 1kWh custa cerca de 0,15€, pelo que:

Tabela 17 - Custos de eletricidade com a impressão das peças em plástico

Fonte: Autora.

Impressora de materiais plásticos	
Potência de consumo	1,16kW
Custo de funcionamento por hora	$1,16kWh \times 0,15€/kWh = 0,17€$

Designação da peça	Custo da eletricidade consumida durante a impressão
Anilha plana	$15min = 0,25h$ $0,25h \times 0,17€/h = 0,04€$
Junta tórica	$1h15min = 1,25h$ $1,25h \times 0,17€/h = 0,22€$
Junta	$2h23min = 2,38h$ $2,38h \times 0,17€/h = 0,41€$

³¹ Para os artigos de plástico foi necessário realizar este cálculo manualmente, enquanto para os artigos metálicos o *software Eiger* fornecia essa informação, sendo apenas necessário realizar o câmbio de USD para euros (€).



Tabela 18 - Custos de eletricidade com a impressão das peças em metal

Fonte: Autora.

Impressora de materiais metálicos	
Potência de consumo	2,4KW
Custo de funcionamento por hora	$2,4kWh \times 0,15€/kWh = 0,36€$

Designação da peça	Custo da eletricidade consumida durante a impressão
Parafuso de cabeça sextavada	$46h26min = 46,43h$ $46,43h \times 0,17€/h = 8,08€$
Troço em aço	$17h28min = 17,47h$ $17,47h \times 0,17€/h = 3,04€$
Parafuso	$22h24min = 22,40h$ $22,40h \times 0,17€/h = 3,90€$
Anel de freio interior	$21h29min = 21,48h$ $21,48h \times 0,17€/h = 3,74€$
Junta de vedação	$25h19min = 25,32h$ $25,32h \times 0,17€/h = 4,41€$
Junta de vedação (cobre)	$18h23min = 18,38h$ $18,38h \times 0,17€/h = 3,20€$
Parafuso de cabeça sextavada	$38h14min = 38,23h$ $38,23h \times 0,17€/h = 6,65€$

- Custo Homem/hora: corresponde ao custo de uma hora de trabalho de um trabalhador para a realização de uma determinada tarefa, neste caso, para a realização de todo o processo inerente à produção em 3D, como por exemplo, modulação do artigo, impressão da peça e eventuais acabamentos. Apesar de este custo não se encontrar englobado nos cálculos realizados, deverá ser tido em conta para uma estimativa correta dos custos da impressão 3D.
- Custos indiretos: contrariamente aos custos diretos, os custos indiretos dizem respeito a todos os custos que não se encontram diretamente relacionados com a produção de um determinado produto, não dependendo do fluxo de produção.
 - Custo da depreciação dos equipamentos: corresponde à diminuição do valor monetário “de todos os ativos de imobilizado” (ITSUF 3) ao



longo do tempo devido ao uso, desgaste ou obsolescência, e *“começa quando o ativo fica disponível para uso, isto é, quando estiver no local e nas condições necessárias para ser capaz de operar da forma pretendida pelo órgão de gestão”* (Decreto-Lei n.º 192/2015, de 11 de setembro). Desta forma, procedeu-se à consulta da Tabela II – Taxas genéricas, anexa ao Decreto Regulamentar n.º 25/2009, de 14 de setembro, e verificou-se que não existe uma taxa de depreciação definida para impressoras, tanto de impressão 3D, como comuns. Contudo, segundo o processo 2093/19, PIV n.º 15 724/19, Despacho de 2019-10-22, da Diretora de Serviços de IRC, *“as impressoras poderão ser enquadradas na Tabela II – Taxas genéricas (anexa ao Dec. Reg. n.º 25/2009), “Grupo 3 – Máquinas, aparelhos e ferramentas”, “Código 2200 – Aparelhagem e máquinas eletrónicas”, cuja percentagem de depreciação prevista é de 20%”*.

Assim sendo, na , abaixo apresentada, encontram-se as taxas de depreciação anuais obtidas da utilização desta taxa de depreciação para ambas as impressoras 3D.

Tabela 19 - Depreciação de ambas as impressoras 3D.

Fonte: Autora.

Impressora de materiais plásticos	
Custo de aquisição	34 503€
Vida útil	5 anos
Valor da depreciação anual (taxa de 20%)	$34\,503 \times 0,2 = 6\,900,60\text{€}$
Impressora de materiais metálicos	
Custo de aquisição	165 590€
Vida útil	5 anos
Valor da depreciação anual (taxa de 20%)	$165\,590 \times 0,2 = 33\,118\text{€}$

- Custo de eventuais ações de manutenção: correspondem aos custos inerentes a ações de manutenção aos espaços destinados para a impressão 3D, como o futuro CPD. Tendo em conta as especificidades dos equipamentos, é necessária a existência de um determinado conjunto de condições que garantam o correto funcionamento dos mesmos, como por exemplo, a limpeza e climatização adequada do



espaço e a recolha dos resíduos excedentes. Contudo, por falta de dados históricos para tratamento não é possível apresentar valores acerca deste tipo de custos, contudo deverão ser tidos em conta para uma estimativa correta dos custos da impressão 3D.



Apêndice E – Materiais tidos em consideração para as estimativas de tempo e custo

A *Markforged* oferece uma vasta gama de materiais, com informação detalhada, como por exemplo, o seu custo por cm³ e as suas propriedades químicas e mecânicas.

Para as peças em plástico foi sugerida, pelo 1SAR ETC Lázaro Peralta, a utilização do nylon, uma vez que este vai de encontro às especificações das três peças.

Para as peças em plástico foi sugerida, pelo 1SAR ETC Lázaro Peralta, a utilização do nylon, uma vez que este vai de encontro às especificações das três peças.

Tabela 20 - Peças em plástico e o material escolhido para a sua impressão.

Fonte: Autora.

Designação das peças	NNA	Material referido nas especificações retiradas do NMCRL	Material utilizado
Anilha plana	5310012031687	Plástico acetal	Nylon
Junta tórica	5331995264409	Politetrafluoretileno (PTFE)	
Junta	5330123152474	Nylon	

Para as peças metálicas foi necessária uma análise comparativa entre os materiais referidos nas informações retiradas do NMCRL, e os materiais disponíveis na *Markforged*, de forma que os materiais para impressão 3D cumprissem o maior número de requisitos mecânicos possíveis.

Tabela 21 - Peças em metal e o material escolhido para a sua impressão.

Fonte: Autora.

Designação das peças	NNA	Material referido nas especificações retiradas do NMCRL	Material utilizado
Parafuso de cabeça sextavada	5305121240498	Aço (DIN ISO898)	17-4 PH Stainless Steel
Troço em aço	5315006878566	Aço	17-4 PH Stainless Steel



Parafuso	5305999008770	Aço resistente à corrosão	Inconel 625
Anel de freio interior	5325123198882	Aço	17-4 PH <i>Stainless Steel</i>
Junta de vedação	5330123226752	STEEL COMP 1.0333	17-4 PH <i>Stainless Steel</i>
Junta de vedação	5330121564852	Cobre	Cobre
Parafuso de cabeça sextavada	5305123490996	A2 <i>Tool Steel</i>	A2 <i>Tool Steel</i>

Na situação do troço em aço e do anel de freio interior, em que o material especificado na informação retirada do NMCRL era aço genérico, optou-se por escolher o material mais resistente, uma vez que ambas as peças fazem parte de sistemas de refrigeração, permitindo assim obter peças mais duradouras e resistentes à água e outros elementos.





Apêndice F – Edificação da capacidade da manufatura aditiva

Apesar de na Marinha já existir alguma experiência na área da manufatura aditiva, nomeadamente no CEOM e no CEOV, torna-se necessário que esta capacidade se torne mais acessível a outros Setores da Marinha.

Assim sendo, e de forma a garantir a edificação desta nova capacidade sustentável no tempo, é crucial cumprir com os requisitos dos elementos da metodologia Doutrina, Organização, Treino, Material, Liderança, Pessoal, Infraestruturas (DOTMLPI), desenvolvido pela NATO para este mesmo fim.

- Doutrina – É necessária a elaboração e implementação de uma doutrina, onde se encontrem definidos as regras e procedimentos quanto à impressão em 3D para que as unidades operacionais (navios, fuzileiros, mergulhadores e helicópteros) possam utilizar esta capacidade.

- Organização – Deverá também definir-se, dentro da estrutura orgânica da Marinha, quais os responsáveis pela nova capacidade. Como tal, é sugerido o envolvimento de entidades dentro dos seguintes Setores:

- o Material – nomeadamente a Direção de Navios, responsável pelos aspetos técnicos da nova capacidade; e a DA, que sendo o OA será responsável por providenciar os artigos impressos às unidades operacionais, e ainda pela criação de uma base de dados de catalogação dos ficheiros digitais dos artigos a imprimir;

- o Operações – Comando Naval, responsável pela *“preparação, o aprontamento e a sustentação das forças e meios da componente operacional do sistema de forças”* (Decreto-Lei n.º 185/2014 de 29 de dezembro).

- Treino – De modo a garantir a correta utilização da capacidade nas unidades operacionais, e com o envolvimento da Escola de Tecnologias Navais e da Escola Naval, é necessária a formação, técnica e universitária, do Pessoal (oficiais, sargentos e praças). Desta forma, é possível garantir que o Pessoal sabe utilizar devidamente os equipamentos da nova capacidade, diminuindo o risco de estragos por má utilização;



- Material – Importa averiguar qual o material necessário para a capacidade, nomeadamente, qual a matéria-prima a ser utilizada para as impressões (metal, polímeros ou outros), bem como quais as impressoras que deverão ser adquiridas, caso exista esta necessidade;
- Liderança – Tendo em conta que se trata de uma capacidade cuja edificação é transversal a diversos setores, como já referido, considera-se que o Estado Maior da Armada deverá ser a entidade responsável pela liderança da mesma;
- Pessoal – Para a operacionalização da capacidade, o OA deverá identificar o Pessoal que será responsável pelo manuseamento dos equipamentos da capacidade. Os elementos escolhidos deverão então ser alvo da formação adequada para operação correta da nova capacidade;
- Infraestruturas – Por fim, importa definir quais as infraestruturas, na DA, que serão utilizadas para estabelecer a nova capacidade, e que funcionarão como um centro de apoio às unidades operacionais.

