



ACADEMIA MILITAR

A utilização do Fabrico Aditivo em apoio às Unidades Escalão Companhia e Batalhão

Autor: Aspirante Aluno de Infantaria Nuno Gonçalo Santos Vieira

Orientador: Major de Material Luís Filipe Pratas Quinto

Mestrado Integrado de Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2023



ACADEMIA MILITAR

A utilização do Fabrico Aditivo em apoio às Unidades Escalão Companhia e Batalhão

Autor: Aspirante Aluno de Infantaria Nuno Gonçalo Santos Vieira

Orientador: Major de Material Luís Filipe Pratas Quinto

Mestrado Integrado de Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, maio de 2023

EPÍGRAFE

“Wars are won or lost because of logistics”

Dwight D. Eisenhower

AGRADECIMENTOS

Durante todo o meu percurso académico é essencial enaltecer o papel crucial que algumas pessoas tiveram no apoio constante e incansável para conseguir completar com sucesso este Trabalho de Investigação Aplicada. Além de uma etapa de superação e aprendizagem, esta dissertação materializa o final do percurso académico na Academia Militar e permite-me a ascensão a Oficial de Infantaria do Exército Português, que sempre foi um dos meus grandes objetivos.

Ao meu Orientador, Major de Material Luís Quinto, por toda a sua dedicação, ajuda e disponibilidade ao longo de toda a investigação, bem como todo o conhecimento científico sobre Fabrico Aditivo que me foi passado.

Ao meu Diretor de Curso, Capitão de Infantaria Pedro Meneses, por conseguir prontamente ajudar-me na aquisição dos contactos para a realização das entrevistas e em toda a sua disponibilidade aquando a realização desta investigação.

A todos os entrevistados, pela pronta colaboração demonstrada aquando a participação nas entrevistas, nas quais dedicaram tempo e partilharam todo o conhecimento sobre a temática desenvolvida nesta investigação.

À Academia Militar por me ter proporcionado uma formação excecional ao longo dos últimos cinco anos, culminando na realização deste Trabalho de Investigação Aplicada. Estarei sempre grato pela educação de alta qualidade, pelos desafios intelectuais, físicos e psicológicos, bem como a dedicação dos professores e instrutores que me acompanharam neste trajeto. Acredito que os valores e valências que adquiri durante a minha formação na Academia Militar serão fundamentais na minha vida profissional e pessoal.

Um grande obrigado aos meus amigos e camaradas de curso que estiveram comigo nos melhores, mas também nos piores momentos, que me motivaram e puxaram por mim quando mais precisava.

Por último, mas não menos importante, um agradecimento especial à minha família, principalmente aos meus pais e ao meu irmão que sempre me apoiaram, incentivaram e deram estabilidade ao longo destes últimos cinco anos.

A todos vós, um sincero, muito obrigado!

RESUMO

A cadeia logística militar atual enfrenta algumas limitações no que toca à dependência de fornecedores externos, à complexidade e rigidez dos processos, às limitações geográficas dos teatros de operações, onde o acesso para o abastecimento e manutenção pode ser um desafio. O fabrico aditivo é apontado como uma solução viável e disruptiva para mitigar as limitações anteriormente descritas.

O objetivo desta investigação foi a avaliação das implicações do fabrico aditivo no Exército Português, aplicado em ambiente operacional às unidades escalão Companhia e Batalhão. Para tal, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica e foram considerados como objeto de estudo dez países que se destacam como potências militares a nível global, bem como militares portugueses que tiveram contacto com o fabrico aditivo e têm conhecimento prático na função logística manutenção.

A implementação do fabrico aditivo no Exército Português trará implicações positivas ao nível da manutenção e da logística como, a melhoria da disponibilidade operacional, a produção localizada de sobressalentes e a redução de *stocks*. Além disso, a adição da capacidade de fabricar, personalizar e modificar sobressalentes obsoletos aumentará a flexibilidade e a adaptabilidade às necessidades operacionais. No entanto, esta implementação implicará alguns desafios como o investimento inicial elevado em equipamentos e infraestruturas adequadas ao fabrico aditivo, bem como a qualificação e formação do pessoal. Além disso, a falta de certificações de qualidade, desempenho e segurança dos sobressalentes produzidos.

O Fabrico Aditivo é uma tecnologia disruptiva e a sua implementação poderá otimizar os procedimentos logísticos e aumentar a operacionalidade das forças.

Palavras-chave: Fabrico Aditivo; Ambiente Operacional; Logística Militar; Manutenção.

ABSTRACT

The current military logistics chain faces limitations regarding dependency on external suppliers, process complexity and rigidity, and geographical struggles in deployments where access for supply and maintenance can be challenging. The additive manufacturing is regarded as a viable and disruptive solution to mitigate the limitations mentioned before.

The objective of this research was to assess the implications of additive manufacturing in the Portuguese Army, applied in operational environments at Company and Battalion units. To this end, an extensive literature review was conducted, and ten countries were considered as case studies due to their global military prominence. Additionally, portuguese military personnel with practical knowledge and experience in logistics and maintenance were included in the study.

The implementation of additive manufacturing in the Portuguese Army will bring positive implications in terms of maintenance and logistics, such as improved operational availability, localized production of spare parts, and reduced *stock* levels. Furthermore, the ability to fabricate, customize, and modify obsolete spares will enhance flexibility and adaptability to operational needs. However, implementing additive manufacturing will also bring some challenges, including high initial investment in suitable equipment and infrastructure, personnel qualification and training. Furthermore, the lack of quality, performance and safety guarantee certificate for the produced spares.

Additive Manufacturing is a disruptive technology, and its implementation could optimize logistical procedures and enhance the operational capabilities of the forces.

Keywords: Additive Manufacturing; Operational Environment; Military Logistics; Maintenance.

ÍNDICE GERAL

EPÍGRAFE.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE QUADROS.....	ix
LISTA DE APÊNDICES	x
LISTA DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	xi
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
1.1 Ambiente Operacional.....	4
1.2 Indústria 4.0.....	4
1.3 Fabrico Aditivo	5
1.3.1. Tecnologias e Processos de Fabrico Aditivo.....	6
1.3.1.1. Jato de Aglutinante (BJT).....	7
1.3.1.2. Deposição Direcionada de Energia (DED).....	7
1.3.1.3. Extrusão de Material (MEX)	8
1.3.1.4. Jato de Material (MJ)	9
1.3.1.5. Fusão em Cama de Pó (PBF).....	9
1.3.1.6. Construção por Laminados (SHL)	10
1.3.1.7. Fotopolimerização de Resina (VPP).....	11
1.4 Ciclo de Vida	11
1.5 Manutenção.....	15
1.6 Fabrico Aditivo de Aplicação Militar	17

1.6.1.	Organização do Tratado do Atlântico Norte	18
1.6.2.	União Europeia	18
1.7	Benefícios e Limitações.....	19
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA		22
2.1	Objetivos.....	22
2.2	Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas	22
2.3	Instrumentos de Recolha de Dados	22
2.3.1	Análise Documental.....	23
2.3.2	Entrevistas	23
2.3	Seleção da Amostra.....	24
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS.....		25
3.1	Fabrico Aditivo em Contexto Internacional	25
3.1.1	Espanha	25
3.1.2	Países Baixos.....	26
3.1.3	França.....	26
3.1.4	Alemanha	27
3.1.5	Finlândia.....	28
3.1.6	EUA	29
3.1.7	Austrália	30
3.1.8	Inglaterra	31
3.1.9	Ucrânia.....	31
3.1.10	Israel.....	32
3.1.11	Síntese Conclusiva	32
3.2	Fabrico Aditivo em Contexto Nacional.....	33
3.3	Entrevistas.....	34
3.3.1	Tecnologias de Fabrico Aditivo	35
3.3.2	Aplicações em Ambiente Operacional	37

3.3.3 Benefícios e Limitações	39
CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42
4.1 Tecnologias de Fabrico Aditivo	42
4.2 Aplicações em Ambiente Operacional	42
4.3 Benefícios e Limitações	44
4.4 Implementação do FA no Exército Português.....	47
CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
APÊNDICES	i
ANEXOS.....	xviii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 - Tecnologias da Indústria 4.0	5
Figura n.º 2 - Os três pilares da Sustentabilidade	14
Figura n.º 3 - Matriz SWOT	xviii

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Entrevistados.....	24
Quadro 2 - Resultados relativos à pergunta 1.....	35
Quadro 3 - Resultados relativos à pergunta 3.....	35
Quadro 4 - Resultados relativos à pergunta 4.....	36
Quadro 5 - Resultados relativos à pergunta 2.....	37
Quadro 6 - Resultados relativos à pergunta 2.....	37
Quadro 7 - Resultados relativos à pergunta 5.....	38
Quadro 8 - Resultados relativos à pergunta 6.....	39
Quadro 9 - Resultados relativos à pergunta 7.....	39
Quadro 10 - Resultados relativos à pergunta 8.....	40
Quadro 11 - Análise SWOT	45
Quadro 12 - Tecnologias de FA.....	i
Quadro 13 - Vantagens, Desvantagens e Aplicações das Tecnologias de FA	ii
Quadro 14 - Modelo de Análise.....	iv
Quadro 15 - Tecnologias de FA Militar em Contexto Internacional.....	v
Quadro 16 - Enquadramento da Entrevista na Estrutura da Investigação.....	viii
Quadro 17 - Excertos das Entrevistas	xi

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Tecnologias de FA	i
Apêndice B - Vantagens, Desvantagens e Aplicações das Tecnologias de FA	ii
Apêndice C – Modelo de Análise.....	iv
Apêndice D - Tecnologias de FA Militar em Contexto Internacional.....	v
Apêndice E - Guião de Entrevista.....	vi
Apêndice F - Enquadramento da Entrevista na Estrutura da Investigação	viii
Apêndice G - Excertos das Entrevistas	xi

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Matriz SWOT.....	xviii
----------------------------	-------

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

1CSSB – *First Combat Service Support Battalion*

A/D – Apoio Direto

A/G – Apoio Geral

AC – *Air-Conditioning*

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AM - Academia Militar

AMC – *Additive Manufacturing Cell*

AMCE – *Additive Manufacturing Center of Excellence*

AMLS – *Additive Manufacturing for Logistic Support*

ASCV – Avaliação Social do Ciclo de Vida

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BAAINBw – *Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr*

BJT – *Binder Jetting* / Jato de Aglutinante

BSMAT – *Base de Soutien du Matériel*

CAD – *Computer Aided Design*

CAM – *Computer Aided Manufacturing*

CC – Carro de Combate

CCV – Custo do Ciclo de Vida

CEO – *Chief Executive Officer*

CINAMIL – Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar

DA – Direção de Aquisições

DED – *Directed Energy Deposition* / Deposição Direcionada de Energia

DIE – Direção de Infraestruturas do Exército

DMD – *Direct Metal Deposition*

DMT – Direção de Material e Transportes

EDA – *European Defense Agency*

EME – Estado Maior do Exército

EP – Exército Português

EUA – Estados Unidos da América

FA – Fabrico Aditivo

FAME – *Finnish Additive Manufacturing Ecosystem*

FDM – *Fused Deposition Modeling*

FFAA – Forças Armadas

FS – Fabrico Subtrativo

FT – Fabrico Tradicional

ISO – *International Organization for Standardization*

IST – Instituto Superior Técnico

LAM – *Laser Additive Manufacturing*

LMI – *Laser Modeling Israel*

LNA – Lista de Níveis de Apoio

LNO – Lista de Níveis de Orgânicos

LOM – *Laminated Object Manufacturing*

Man – Manutenção

ManC – Manutenção Corretiva

ManDep – Manutenção de Depósito

ManInt – Manutenção Intermédia

ManP – Manutenção Preventiva

ManUn – Manutenção de Unidade

MatLogCo – Comando de Logística de Material

MEX – *Material Extrusion* / Extrusão de Material

MJ – *Material Jetting* / Jato de Material

NEP – Norma de Execução Permanente

OE – Objetivo Específico

ONG – Organizações Não-Governamentais

OTAN – Organização do Tratado do Atlântico Norte

PBF – *Powder Bed Fusion* / Fusão em Cama de Pó

PD – Pergunta Derivada

POM – *Polarized Optical Microscopy*

PP – Pergunta de Partida

R-FAB – *Rapid Fabrication via Additive Manufacturing on the Battlefield*

RI 4.0 – Quarta Revolução Industrial

RMan – Regimento de Manutenção

RTransp – Regimento de Transportes

RWS – Radar Warning System

SHL – *Sheet Lamination* / Construção por Laminados

SIMMT – *Structure Intégrée du Maintien en condition opérationnelle des Matériels Terrestres*

SLA – *Stereolithography*

SLS – *Selective Laser Sintering*

TIA - Trabalho de Investigação Aplicada

TNO – *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research*

TO – Teatros de Operações

UAGME – Unidade de Apoio Geral de Material do Exército

UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*

VBR – Viatura Blindada de Rodas

VPP – *Vat Photopolymerization* / Fotopolimerização de Resina

WiWeB – *Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-und Betriebsstoffe*

INTRODUÇÃO

A logística define-se como uma área que tem como objetivo fornecer à pessoa certa, o produto certo, na quantidade certa, no lugar certo, no tempo certo, na condição desejada e ao menor custo possível (Bertaglia, 2013). A logística das operações militares é um processo complexo onde os tempos de resposta, incerteza na disponibilidade, grande variedade de materiais requisitados e a relação custo versus benefício são determinantes para a capacidade de combate (Acero, Torralba, Pérez-Moya & Pozo, 2020). A problemática deste TIA prende-se com uma transformação nos procedimentos da logística atual nas operações militares.

Nos dias de hoje, a logística no Exército Português (EP) é associada a elevados custos financeiros e diversos tipos de materiais, materializada numa baixa capacidade de resposta, sobretudo em Teatros de Operações (TO) que envolvem voos de sustentação (reposição de produtos e materiais). “Em particular, a logística militar é um caso específico onde a capacidade de fornecer recursos humanos e materiais é crucial, no menor tempo possível, em quantidades imprevisíveis e em localizações variáveis de acordo com os novos conflitos armados.” (Acero et al., 2020). Segundo Carvalho (2012) como citado em Feliciano (2019, p. 4) existem alguns conceitos que se podem associar à logística, nomeadamente, a flexibilidade, a fiabilidade, adaptabilidade, rapidez e eficiência, bem como a disponibilidade. De forma geral, se potencializarmos estes conceitos iremos potencializar a qualidade e a capacidade da resposta logística.

Com o objetivo de aumentar a capacidade e qualidade de resposta logística nas operações militares introduz-se o Fabrico Aditivo (FA) que é, de facto, uma tecnologia com elevada importância para o EP devido aos seus benefícios, nomeadamente disponibilidade dos componentes, bem como a produção de componentes mais leves e usando menos material, através da redução do desperdício de material (Minetola, Calignano & Galati, 2020). Atualmente este tipo de fabrico pode ter como produtos finais sobressalentes de diversos materiais, como titânio, aço inoxidável, níquel, alumínio, cobalto, cobre, magnésio, zircónio, metais de refração, plásticos e cerâmica. A cada tipo de material estão associadas propriedades que devem ser adequadas ao tipo de emprego que vamos dar a esse sobressalente (Reichardt et al., 2021).

A *European Defense Agency* (EDA) está a construir um projeto desde 2018, chamado *Additive Manufacturing for Logistic Support* (AMLS) e considera o FA “... não

uma tecnologia com capacidade limitada, mas uma habilidade importante que tem o potencial de reduzir a pegada logística.” (EDA, 2021). Neste projeto são debatidos temas como o aumento de desempenho de coletes balísticos e o desenvolvimento de materiais para o FA a nível militar. Além da EDA, a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) está cada vez mais interessada no FA visto que é um conjunto de processos flexíveis. A OTAN pode constatar a diferença de uma logística militar tradicional onde os produtos passam em várias etapas (a fabricação ocorre nas instalações do fornecedor) com a logística militar de FA, onde a fabricação pode ocorrer num porto, numa embarcação, numa base militar ou num posto militar avançado através de sistemas de FA projetáveis (Busachi et al., 2019).

Dentro do FA, em contexto militar, podem ser diversas as potencialidades deste tipo de fabrico que variam desde a manutenção, a robótica, a medicina (reconstrução de partes do corpo humano ou próteses), a alimentação, o equipamento individual de cada militar e até mesmo a produção de munições (Seah, Thong, Choo & Wen, 2016). No presente TIA o estudo será delimitado apenas à área da Manutenção. Nesta área o FA pode permitir a produção *Just-in-Time* (sistema que tem como objetivo produzir apenas a quantidade de sobressalentes necessários, sem excesso e de forma rápida e eficaz e, ainda, conseguir transportar as mesmas para o lugar certo no tempo que temos disponível) e pode produzir inicialmente protótipos para serem testados e, posteriormente seguirem para produção em grande escala. Na manutenção este método é vantajoso, pois fornece aos sistemas militares capacidades e soluções inovadoras como o aumento de desempenho e de segurança. (Seah et al, 2016).

O objetivo geral desta investigação é a avaliação das implicações do FA no EP, aplicado em ambiente operacional às unidades escalão Companhia e Batalhão. Deste modo pretende-se perceber como é que a implementação deste tipo de fabrico afeta a logística e as operações militares, tanto a nível do ciclo de vida dos sobressalentes e da sua disponibilidade e operacionalidade, como dos sistemas de armas, bem como a comparação dos benefícios e limitações dos sobressalentes produzidos através de FA e dos sobressalentes adquiridos no mercado.

Definiram-se como objetivos específicos (OE), para facilitar a abordagem do objetivo geral e assim tornar mais claro e conciso o desenvolvimento da investigação, os seguintes:

OE1: Identificar as tecnologias de FA atuais;

OE2: Compreender a aplicação do FA em ambiente operacional em unidades

escalão Companhia e Batalhão;

OE3: Identificar os benefícios e limitações do FA face ao ciclo de vida.

De acordo com os OE acima mencionados, e de forma a assegurar o desenvolvimento no conhecimento científico da presente investigação, foi delineada uma pergunta de partida (PP), sendo ela, **“Quais as inferências da implementação do FA no EP?”**.

De modo a facilitar a leitura do documento, este foi estruturado em 4 capítulos. O primeiro capítulo aborda uma revisão da literatura, fornecendo uma base teórica sobre o FA, incluindo uma descrição das tecnologias e processos associados, além de analisar o ciclo de vidas dos sobressalentes e perceber o conceito de manutenção. Posteriormente, apresenta-se o estado atual do FA no contexto militar, abordando estratégias, investigações e avanços realizados pela OTAN e pela União Europeia (UE) nesta área, bem como os benefícios, limitações e aplicações desta tecnologia. O segundo capítulo descreve a metodologia adotada neste TIA, detalhando a abordagem utilizada para o tratamento dos dados recolhidos, o modelo de análise aplicado na pesquisa e os instrumentos utilizados para a recolha de dados. No terceiro capítulo são apresentados os resultados obtidos da pesquisa realizada, incluindo análise documental e os dados obtidos através das entrevistas. O quarto capítulo consiste na Discussão dos Resultados, comparando-os com as informações adquiridas na revisão da literatura. Por fim, são apresentadas as conclusões inerentes a este TIA, incluindo as limitações e sugestões para investigações futuras.

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

1.1 Ambiente Operacional

De acordo com a doutrina nacional, o ambiente operacional é o “conjunto de condições, circunstâncias e influências que afetam o emprego de forças militares e influem as decisões do comandante (...)” (EME, 2012).

As operações militares decorrem em ambientes operacionais cada vez mais distintos, quer pela sua localização, quer pela crescente volatilidade do campo de batalha e, sobretudo, pela evolução e implementação de tecnologia que muda constantemente todo o espectro de conflitos. Logo, o estudo e a análise do ambiente operacional tem sido, crescentemente, uma preocupação para os líderes militares em todo o mundo, pois, o conhecimento total do mesmo é uma tarefa chave para o correto emprego dos meios disponíveis (EME, 2012). A mudança constante do ambiente operacional implica uma tomada de decisões e ações rápidas, bem como uma resolução de problemas célere. Deste modo, a aptidão a reagir rápida e eficazmente a diversos fatores como, acontecimentos inesperados ou graves que necessitem de uma ação imediata ou uma resolução de problemas, é crucial, devido à incerteza e imprevisibilidade do ambiente operacional moderno (Rodrigues, 2013).

1.2 Indústria 4.0

O FA é uma das tecnologias inerentes à indústria 4.0. Antes de abordar o FA importa definir e enquadrar o mesmo dentro da indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial (RI 4.0). As Revoluções Industriais tiveram início no século XVIII, onde o trabalho manual (manufatura) foi substituído pela produção de artigos por meio de máquinas (maquinofatura). A Segunda Revolução Industrial ocorreu por volta de 1870, onde foi introduzida a energia elétrica que capacitou e deu origem à produção em massa. Durante a década de 1970, aconteceu a Terceira Revolução Industrial, que despertou com o surgimento de dispositivos eletrônicos. Atualmente, a RI 4.0 é construída sobre a Revolução Digital onde a tecnologia e as pessoas estão conectadas (Alaloul, Liew, Zawawi & Kennedy, 2020).

A Indústria 4.0 revoluciona a automação, monitorização e a análise das cadeias de abastecimento com recurso a tecnologia inteligente. Consequentemente, a RI 4.0 torna toda a cadeia de abastecimento, desde o fabrico até ao armazenamento e logística inteligentes (SAP, s.d.). A implementação da RI 4.0 interliga as máquinas, tecnologia e os seres humanos fazendo com que seja possível operar e partilhar informações sem a

necessidade física de seres humanos, aumentando a eficiência e eficácia (Alaloul et al., 2020). A Figura n.º 1 ilustra as várias tecnologias associadas à Indústria 4.0.

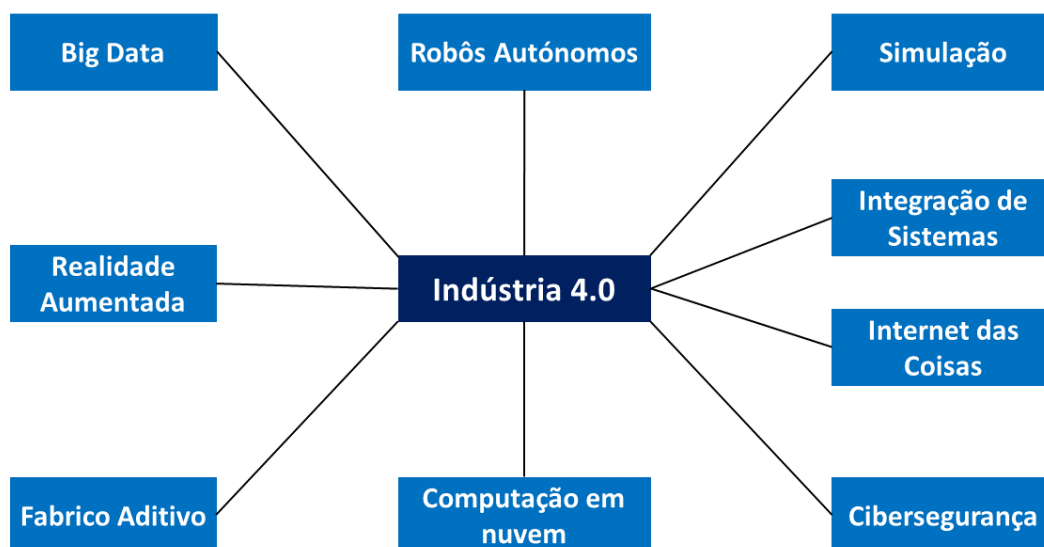


Figura n.º 1 - Tecnologias da Indústria 4.0
Fonte: Elaboração Própria – Adaptado de Frank, Dalenogare & Ayala (2019)

1.3 Fabrico Aditivo

Após a visualização da Figura n.º 1 podemos verificar que o FA é uma das tecnologias emergentes e disruptivas da atualidade. O FA, em senso comum chamado de impressão 3D, é uma tecnologia recente que permite a produção de componentes para diversos fins e funcionalidades. Geralmente, o FA inclui uma vasta gama de tecnologias que têm a capacidade de transformar dados de modelos virtuais em peças físicas. Este método requer um ficheiro *Computer Aided Design* (CAD) que é depois convertido num ficheiro *Computer Aided Manufacturing* (CAM) para que seja possível a impressora 3D construir a imagem em camadas transversais para serem usadas como etapas na criação de um determinado produto. Este processo surgiu como resposta ao Fabrico Subtrativo (FS) “método onde criamos um objeto desbastando uma matéria-prima de maiores dimensões que o próprio objeto.” (Santos, 2018, p.19).

Após definir o conceito de FA, segue-se então para uma breve introdução histórica com vista a perceber como surgiu e evoluiu esta tecnologia. A primeira máquina de FA foi criada por um engenheiro físico chamado Chuck Hull da *3D Systems*, em 1984 nos

Estados Unidos da América (EUA). Estas máquinas eram chamadas de prototipagem rápida, e usavam a técnica de estereolitografia tendo sido as primeiras a aparecer no mercado em 1987.

O aperfeiçoamento científico do FA revelou inúmeras vantagens, como a velocidade de produção de sobressalentes e a economia de matéria-prima (Santos, 2018). Posteriormente foram introduzidos outros sistemas, como a tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM) da *Stratasys*TM ou a *Laminated Object Manufacturing* (LOM) da *Helisys*TM. A *Selective Laser Sintering* (SLS) surge em 1992, pela empresa *DTM*TM. Em 1996 apareceu a primeira impressora 3D de metais, chamada *Genisys* da *Stratasys*TM (Miranda, 2020).

Os primeiros sistemas de FA metálicos foram introduzidos no mercado em 1997 pela *AeroMet*TM e utilizavam um processo chamado *Laser Additive Manufacturing* (LAM). Desde então, foram desenvolvidos outros processos de fabricação como *Direct Metal Deposition* (DMD) ou *Polarized Optical Microscopy* (POM) no início do século XXI (Miranda, 2020). No início deste século, o FA era usado apenas para produzir sobressalentes e equipamentos complexos com grande valor, em número limitado, devido ao elevado custo financeiro na aquisição do equipamento. No entanto, a partir de 2012, a tecnologia de FA desenvolveu-se e começou a ser comercializada num estilo mais simplista e económico, o que levou identidades singulares a comprarem estes equipamentos (Commonwealth, s.d.).

O FA possibilita a fabricação de estruturas complexas, nomeadamente para estruturas obtidas através de otimização topológica. Este tipo de fabrico é flexível para quaisquer estruturas complicadas, sem usar ferramentas adicionais, moldes ou procedimentos complicados e, além disso, reduz o tempo de espera em prototipagem rápida e produção em pequenas quantidades (Zhu et al., 2021). Atualmente o FA está a ser cada vez mais aplicado em diferentes áreas “desde automóveis a aeronaves até ao fabrico de casas, bem como nas indústrias médicas, alimentares e espaciais.” (Abdulhameed, Al-Ahmari, Ameen & Mian, 2019, p. 3).

1.3.1. Tecnologias e Processos de Fabrico Aditivo

A norma *International Organization for Standardization / American Society for Testing and Materials* (ISO/ASTM) 52900, publicada em 2021, “estabelece e define os termos usados na tecnologia de FA”. De acordo com esta norma, existem sete tipos de tecnologias associadas ao FA, nomeadamente, jato de aglutinante, deposição direcionada

de energia, extrusão de material, jato de material, fusão em cama de pó, construção por laminados e fotopolimerização. Todas estas tecnologias têm processos diferentes, dependendo do material, da técnica de preparação do material, da técnica de geração de camadas, mudanças de fase, o tipo de material e a sua aplicação final (Abdulhameed et al., 2019). No entanto, em todas as tecnologias e processos associados ao FA há um aspeto comum a todos, especificamente que, o fabrico é feito através da adição de camadas sucessivas de matérias-primas, ao invés de remover ou deformar materiais como nos processos convencionais de fabrico (Negi & Sharma, 2016). Recentemente está a surgir o processamento híbrido e está a tornar-se muito popular, pois consegue conjugar técnicas subtrativas com técnicas aditivas (Kamara & Faggiani, 2021). Nos Apêndices A e B estão representados quadros resumo das tecnologias de FA e os respetivos materiais, bem como as suas vantagens, desvantagens e aplicações, respetivamente.

1.3.1.1. Jato de Aglutinante (BJT)

“processo no qual um agente de ligação líquido é depositado seletivamente para unir materiais em pó” (ISO/ASTM 52900). O *Binder Jetting* (BJT) é um tipo de tecnologia consegue utilizar vários materiais, entre eles, polímeros, metais, não-metais, compósitos e biomateriais (Kamara & Faggiani, 2021).

As vantagens desta tecnologia estão inerentes não só à variedade de cores em que os produtos podem ser feitos, mas também à variedade de materiais que podem ser utilizados. Outra capacidade do BJT é a criação de sobressalentes com geometrias complexas. No entanto, este tipo de tecnologia requer obrigatoriamente um pós-processamento dos sobressalentes (operações subsequentes para que o sobressalente atinja a sua forma final). Outra desvantagem associada é que os sobressalentes produzidos apresentam resistência mecânica suficiente para serem utilizadas, mas insuficiente para aplicações que requeiram suporte de carga. Por estes fatores, os sobressalentes fabricados através de BJT são denominadas de “peças verdes” (ASM, 2020).

O BJT é usado na indústria médica e biomédica para a produção de implantes ósseos e dentários, na indústria alimentar, na indústria química, e também, para aplicações específicas nas indústrias aeroespacial e eletrónica, como a produção de circuitos e antenas (Mostafaei et al., 2021).

1.3.1.2. Deposição Direcionada de Energia (DED)

“processo no qual a energia térmica concentrada é usada para fundir materiais à

medida que são depositados” (ISO/ASTM 52900). A *Directed Energy Deposition* (DED) usa como material predominante o metal (Kamara & Faggiani, 2021).

A utilização da DED tem inúmeras vantagens como altas taxas de fabrico, a construção de sobressalentes de elevada densidade com boas propriedades mecânicas, tão boas quanto as criadas a partir de materiais fundidos. Estas técnicas são ideais para serem usadas em reparação e manutenção de material ou equipamento através da adição de metal. Além disso, os equipamentos DED atuais permitem a capacidade de ter diversos tipos de metais, em pó ou fio metálico, o que permite o fabrico de produtos personalizados. Comparativamente a outras tecnologias de FA, a DED é capaz de produzir componentes de maior envergadura e utiliza apenas o material necessário para o fabrico do respetivo produto, diminuindo o desperdício de matérias-primas. O fabrico através da DED permite que o produto inicial esteja estruturalmente parecido com o produto final, exigindo assim menos pós-processamento e possibilita ainda, uma fácil troca de material. No entanto, esta tecnologia requer um grande investimento financeiro, pois os sistemas DED são mais caros relativamente a outras tecnologias de FA. A tecnologia DED fabrica produtos cuja superfície tem uma resolução muito baixa o que requer um processo secundário aumentando o tempo e custo de fabrico. Do mesmo modo, não é possível a utilização de estruturas de suporte durante o fabrico dos produtos (ASM, 2020).

A DED é utilizada nos setores da aeroespacial e da Defesa, em indústrias petrolíferas e de gás, bem como em indústrias navais (Zhou, 2023).

1.3.1.3. Extrusão de Material (MEX)

“processo em que o material é extrudido seletivamente através de um bico ou orifício” (ISO/ASTM 52900). A *Material Extrusion* (MEX) é a tecnologia de FA mais económica e mais popular em termos de disponibilidade, procura e qualidade para o utilizador (ASM, 2020). Este tipo de tecnologia usa materiais como polímeros, metais, compósitos, não-metals e biomateriais (Kamara & Faggiani, 2021).

A MEX atualmente tem impressoras de reduzidas dimensões e de escritório por preços acessíveis, de fácil operabilidade com um tempo de fabrico rápido para produtos pequenos, cuja matéria-prima associada é barata e de fácil manuseamento. Além disso, o processo de fabrico é realizado a baixas temperaturas e os produtos não precisam de muito pós-processamento comparativamente a outras tecnologias de FA. Em contrapartida, a execução de grandes produções é demorosa, existe pouca precisão no fabrico, os produtos finais podem ser suscetíveis a deformações ou separações na junção das camadas e alguns

materiais podem ser tóxicos (ASM, 2020).

A MEX é usada na indústria automóvel e aeroespacial. Esta tecnologia tem também aplicações na área da Defesa, na área da medicina, concretamente o fabrico de tecidos e órgãos humanos, e é ideal para prototipagem e produção em pequena escala (Kamara & Faggiani, 2021).

1.3.1.4. Jato de Material (MJ)

“processo no qual gotículas de matéria-prima são depositadas seletivamente” (ISO/ASTM 52900). O *Material Jetting* (MJ) usa materiais baseados em polímero, metais, compósitos e biomateriais (Kamara & Faggiani, 2021).

Relativamente às vantagens associadas ao MJ é de referir que tem a melhor resolução e precisão relativamente a qualquer outra tecnologia e consegue, conseqüentemente, imprimir produtos realistas. O acabamento de um produto MJ tem propriedades mecânicas e térmicas completamente homogêneas além de terem capacidade multimaterial e multicolor dentro da mesma impressão. Por outro lado, o MJ tem uma gama limitada e cara de materiais, pois usa apenas polímeros e ceras e estas máquinas com tecnologia MJ são também mais caras comparativamente a outras tecnologias de FA. A necessidade de ter estruturas de suporte aumenta o desperdício de matéria-prima. De salientar que os produtos finais têm fracas propriedades mecânicas, logo, não são adequados para uso funcional, pois facilmente danificam e não suportam esforços significativos (ASM, 2020).

O MJ tem não só aplicações médicas, possibilitando produzir modelos ósseos, mas também aplicações na odontologia, capaz de fabricar instrumentos de fixação bucal, guias de implante e dispositivos maxilares e mandibulares. Além disso, esta tecnologia tem aplicações acústicas, eletrónicas e de multimateriais (Gülcan, Günaydın & Tamer, 2021).

1.3.1.5. Fusão em Cama de Pó (PBF)

“processo em que a energia térmica funde seletivamente regiões de uma camada de material em pó” (ISO/ASTM 52900). A *Powder Bed Fusion* (PBF) é a tecnologia mais usual de produção de sobressalentes metálicos, no entanto, é possível produzir com diversos materiais como polímeros, compósitos, não-metals e biomateriais (Kamara & Faggiani, 2021).

Esta é uma tecnologia que se tornou mais acessível, por isso, o seu custo de fabrico é relativamente baixo. Não são necessárias estruturas de suporte. O pó que é usado pode,

em alguns casos, ser reciclado. Outra vantagem é que além de podermos produzir sobressalentes complexos, também podemos produzir sobressalentes plásticos funcionais. A PBF possui plataformas de construção que nos permitem produzir mais do que um sobressalente simultaneamente. Outro fator importante é que as propriedades mecânicas dos sobressalentes metálicos são comparáveis à maquinação e fundição. Em contrapartida, o tempo de fabrico dos produtos é um dos mais lentos de todas as tecnologias de FA, devido aos processos associados, como o pré-aquecimento do pó, a necessidade de gerar vácuo e o período de arrefecimento. A PBF requer material caro e consome imensa eletricidade, não sendo adequado para um ambiente de escritório. A textura final dos produtos é muito variada e os sobressalentes de polímero podem sofrer distorções térmicas ao longo do tempo (ASM, 2020).

Este tipo de tecnologia pode ter várias aplicações, sendo as principais, a indústria automóvel, marítima, aeroespacial, farmacêutica e da medicina, sobretudo na parte dos tecidos (Fina, Gaisford & Basit, 2018). A PBF pode ser também aplicada na Defesa e modelos de arquitetura (ASM, 2020).

1.3.1.6. Construção por Laminados (SHL)

“processo no qual folhas de material são unidas de forma a obter um objeto” (ISO/ASTM 52900). A *Sheet Metal Lamination* (SHL) é um método simples de FA que é sobretudo usado para objetos coloridos de alta resolução. Esta tecnologia traduz-se na deposição de folhas muito finas de material reduzindo-as e juntando-as através de sondas ultrassónicas, colagem ou brasagem. Os materiais que podem ser usados são os metais e compósitos (Kamara & Faggiani, 2021).

A SHL tem inúmeras vantagens relativamente à produção, pois além do tempo de fabrico ser mais rápido, tem um consumo elétrico reduzido e em termos financeiros é pouco dispendioso, pode usar sistemas de fabricação híbridos e pode apresentar uma grande área de construção. Os materiais utilizados são de fácil manuseamento, não são necessárias estruturas de suporte e em algumas situações é possível reciclar o material cortado. Finalmente, esta tecnologia detém a capacidade de estratificar os mais diversos materiais de várias cores. No entanto, é muito difícil produzir sobressalentes ocós ou com cavidades e não é possível a produção de sobressalentes com formas complexas. Existe um enorme desperdício de material se o sobressalente for menor que a área de construção ou o tamanho da folha, o seu pós-processamento além de obrigatório é demorado e é limitado a materiais que têm de vir em folhas muito finas. Este processo não é aconselhado

para sobressalentes que se destinem a serem usadas durante um longo período, porque as ligações adesivas inerentes à tecnologia SHL deterioram-se com o tempo (ASM, 2020).

Ntousia & Fudos (2019) consideram que a SHL é uma das melhores tecnologias de FA para a produção de sobressalentes de grandes dimensões. Apesar de ter sido das primeiras tecnologias de FA a serem comercializadas as suas aplicações industriais são ainda muito limitadas, sobretudo devido à limitação do material referido no parágrafo anterior (Gibson, Rosen, Stucker & Khorasani, 2021).

1.3.1.7. Fotopolimerização de Resina (VPP)

“processo no qual um fotopolímero líquido numa cuba é seletivamente curado por polimerização ativada por luz” (ISO/ASTM 52900). A *Vat Photopolymerization* (VPP) foi a primeira tecnologia de FA inventada, é considerada uma das tecnologias de mais rápida produção e pode produzir sobressalentes extremamente detalhados. O material utilizado nesta tecnologia são resinas poliméricas (Pagac et al., 2021). Além disso podem ser usados também materiais não-metals e biomateriais (Kamara & Faggiani, 2021).

Os produtos finais têm a propriedade de serem estanques e, atualmente, existem materiais biocompatíveis disponíveis. Além disso, os produtos finais, não só ficam com uma textura superficial lisa, como também disponibilizam uma grande área de construção e a resina drenada pode ser reutilizada. Por outro lado, a resina é limitada e cara, o tempo do pós-processamento é demoroso e os produtos podem partir quando expostos a luz solar constante e prolongada (ASM, 2020).

Atualmente são inúmeras as aplicações da VPP que vão desde a “indústria e engenharia, compósitos inteligentes, robótica leve, eletrónica flexível, objetos 3D super-hidrofóbicos, médicos e biomédicos, próteses e órteses, equipamentos desportivos, joias” (Pagac et al., 2021).

1.4 Ciclo de Vida

O ciclo de vida é um fator de extrema relevância nos sobressalentes produzidos através do FA e define-se como “estágios consecutivos e interligados de um produto (ou serviço), desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais até à disposição final... incluem aquisição de matérias-primas, projeto, produção, transporte/entrega, uso, tratamento, fim de vida e disposição final.” (ISO 14001). De acordo com a doutrina nacional, PDE 4-00, o ciclo de vida de um sistema de armas inicia-se quando é determinada a sua implementação nas forças militares, seja para substituir

outro sistema de armas existente ou para preencher uma lacuna com uma nova capacidade. Esse ciclo encerra-se quando o sistema de armas é retirado de serviço e passa por um processo de desativação.

Como podemos verificar o ciclo de vida conjuga todas as fases de um produto, desde a fase mais embrionária até ao final da sua vida. Antes de estudar o ciclo de vida relativo ao FA é relevante perceber os fatores que estão inerentes ao mesmo, nomeadamente, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Custo do Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV) (Ribeiro et al., 2020).

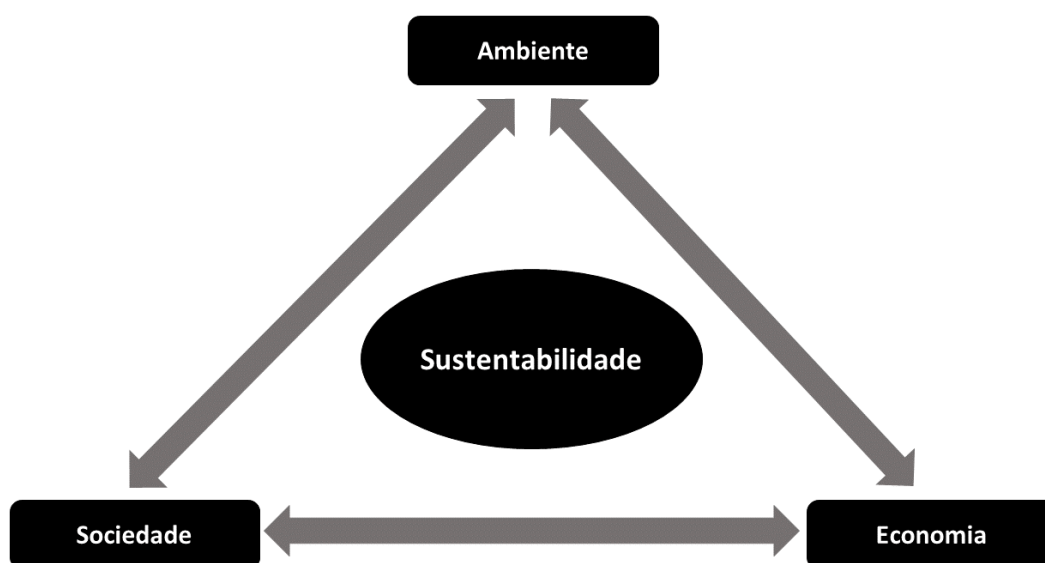
A ACV é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produtos ao longo do seu ciclo de vida” (ISO 14040). Esta avaliação é constituída por quatro pontos determinantes, o Objetivo e Âmbito, o Inventário do Ciclo de Vida, a Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida e a Interpretação, por esta ordem (ISO 14040). O CCV é o “custo de um bem ou das suas partes ao longo do seu ciclo de vida, cumprindo ao mesmo tempo os requisitos de desempenho” (ISO 15686), ou seja, pretende quantificar e calcular os consumos de recursos (energia, água e materiais) e emissões ambientais (atmosféricas, águas residuais e resíduos tóxicos) durante o ciclo de vida de um determinado produto (Jiang, Liu, Li, Cong & Zhang, 2019). A ASCV é “uma técnica de recolher, analisar e comunicar informação sobre as condições sociais e impactos associados à produção e (em algumas aplicações) consumo.” (Norris, Norris & Aulisio, 2014, p. 6974). Em suma a ASCV avalia os potenciais impactos humanos e ecológicos do uso de recursos e isenções ambientais (Jiang et al., 2019).

De seguida é relevante perceber os aspetos que afetam o ciclo de vida do FA no setor ambiental, social e económico, relacionando tecnologias e diferentes tipos de fabrico. Um estudo comparou o FA com o FS, sendo relevante constatar que, a utilização da tecnologia PBF na indústria energética tem um consumo parecido ao fabrico convencional. Em aplicações aeroespaciais a utilização da tecnologia PBF permitiu poupar energia e reduzir os gases com efeito de estufa. Na indústria automóvel e na logística a produção de sobressalentes leves tem aumentado a proteção ambiental direta e indiretamente, reduzindo a emissão de gases e o desperdício de matérias-primas (Prakash, Singh, Kopperi, Ramakrihna & Mohan, 2021). Segundo Liu (2018) como citado em Výtisk, Kočí, Honus & Vrtek (2020) a produção de sobressalentes poliméricos usando o FA resulta numa menor pegada ambiental comparativamente ao FS. Na indústria aeroespacial, uma transição do Fabrico Tradicional (FT) para FA resulta em poupanças económicas significativas a nível de combustível utilizado anualmente (Gao, Wolff &

Wang, 2021). Segundo Chen (2015) como citado em Ford & Despeisse (2016), a implementação do FA pode melhorar o desempenho dos sobressalentes produzidos devido à redução de matérias-primas, à redução de custos financeiros relacionados com o transporte, potencializando a logística, e criando assim um sistema mais descentralizado com capacidade de apoiar a população local. O FA consegue reduzir o custo de transporte do produto até ao utilizador, garantindo disponibilidade na entrega do mesmo, no entanto, em tecnologias como PBF, o elevado consumo de eletricidade e a menor vida útil dos sobressalentes, comparativamente ao fabrico convencional, é ainda um desafio a ser ultrapassado (Cerdas, Juraschek, Thiede & Herrmann, 2017). De salientar que todas as tecnologias de FA a laser têm maior probabilidade de reduzir os impactos ambientais e os custos de produção (Výtisk et al., 2020). Outro estudo foi feito entre a tecnologia de FA PBF e o processo de fabrico padrão, a maquinação e, constatou-se que a tecnologia PBF necessita apenas de 30,5% do material necessário da maquinação e que o consumo de petróleo no fabrico convencional é muito superior à tecnologia PBF, aumentando assim o consumo de energia total. Por outro lado, a tecnologia PBF emite duas vezes e meia mais energia dissipada, aumentando os danos ao ecossistema e à saúde das pessoas comparativamente à maquinação. Relativamente aos custos, o dispêndio médio da maquinação é 2,4 vezes superior à tecnologia PBF, sem incluir o custo das máquinas e a sua manutenção. Concluiu-se que o desempenho geral do PBF em relação ao ciclo de vida é superior à da maquinação (Ford & Despeisse, 2016). Uma empresa inglesa que usa a tecnologia PBF como meio de produção, realizou questionários aos seus trabalhadores. Neste questionário foram realçados indicadores sociais dos trabalhadores da empresa comparativamente ao fabrico convencional. Em vinte e seis indicadores é de realçar que os colaboradores da empresa consideraram que em dezasseis o FA tem um impacto social positivo, oito sem qualquer impacto e dois com impacto negativo. Os indicadores sociais negativos foram a diminuição da contratação de mão-de-obra local, pois existem poucas pessoas com formação em FA, e um aumento da média de horas semanais de trabalho devido ao FA ser uma tecnologia recente e sofrer avanços tecnológicos ao longo do tempo (Naghshineh, Lourenço, Godina, Jacinto & Carvalho, 2020). Outra investigação foi feita realizando moldes através de FA e fabrico convencional e, concluiu-se que existe um “grande potencial do FA para reduzir os impactos ambientais...” (Kafara, Süchting, Kemnitzer, Westermann & Steinhilper, 2017). Ao contrário do FS, a maioria dos processos de FA não produzem desperdícios excessivos de material. Se compararmos a produção de um único sobressalente através dos dois tipos de fabrico, podemos observar

que o FA não exige tanto tempo e tantos custos. Esta nova tecnologia reduz também os resíduos produzidos. No entanto, não é correto afirmar que o FA é sempre capaz de fazer sobressalentes com menos custos que o FT. Em muitos casos é o oposto, porque o FA é uma tecnologia relativamente lenta e cara, dependendo dos processos utilizados, da quantidade e dos parâmetros de produção (Diegel, Nordin & Motte, 2019). A partir de outro estudo de um caso prático em que se analisou o FA e o FT, considerando os custos de projeto, logísticos, manutenção, custos de inatividade e o desempenho geral, concluiu-se que o FA está em desvantagem se a base instalada na máquina for grande, se a vida útil do sistema for longa ou se a economia logística for pequena, pois a manutenção e os custos de inatividade são elevados. Em contrapartida se a base instalada for pequena e se houver uma economia logística sustentável o FA está em vantagem. Entre os principais motivos para a utilização desta tecnologia destacam-se a amenização dos custos pela redução do tempo de espera, o projeto e os benefícios em termos de desempenho (Westerweel, Basten & Van Houtum, 2018).

A sustentabilidade é o estado de um equilíbrio desejável entre os benefícios



económicos, sociais e ambientais (Ford & Despeisse, 2016). A Figura n.º 2 representa os

Figura n.º 2 - Os três pilares da Sustentabilidade
Fonte: Elaboração Própria – Adaptado de Gao et al. (2021)

três pilares da sustentabilidade.

Por este motivo é relevante verificar se o FA é ou não sustentável atualmente. Da perspetiva do ciclo de vida, a utilização do FA isolado tem uma tendência melhor em todas as dimensões da sustentabilidade dos produtos relativamente ao FS isolado (Taddese,

Durieux & Duc, 2020). Além disto, o FA contribui para um desenvolvimento mais sustentável pois proporciona oportunidades para melhorar a eficiência da reutilização de fontes, permitindo a reformulação tanto dos produtos como dos processos para minimizar o desperdício interno, prolonga o ciclo de vida da produção através de abordagens técnicas e uma relação pessoa-produto mais forte e próxima, simplifica e reduz a complexidade logística, colocando a produção mais próxima do consumidor (Ford & Despeisse, 2016).

No entanto, de acordo com Prakash (2021), o fabrico híbrido, que se define como a combinação do FA e do FS, pode levar a reduzir o tempo de produção, consumos de energia, emissões de carbono e a gerar sobressalentes únicos. Em suma, a conjugação do FA com o FT além de se complementarem, podem garantir grandes melhorias em termos ambientais, económicos e sociais.

1.5 Manutenção

Segundo o PDE 4-00, a manutenção é uma das funções logísticas do EP e define-se como um conjunto de tarefas que permitem manter e recuperar a funcionalidade dos equipamentos, além de melhorá-los através de modificações, seja para a adição de novas funcionalidades ou atualização da sua tecnologia. A partir do século XX a manutenção sofreu inúmeras transformações, deixando de ser vista como algo que tinha de ser feito depois de um erro ou avaria e, atualmente, é vista como uma função essencial e um elemento crítico da gestão de ativos. Deste modo, as organizações começaram a perceber que podem melhorar a eficiência, a fiabilidade e o ciclo de vida dos produtos através do planeamento de intervenções de manutenção eficazes (de Jonge & Scarf, 2020).

Na logística do EP existem várias classes de abastecimentos, sendo que a manutenção integra-se sobretudo na Classe IX, que diz respeito a “todos os sobressalentes e componentes necessários à manutenção dos equipamentos, incluindo coleções para reparação, conjuntos e subconjuntos” (PDE 4-00, p. 6-5). No seguimento da afirmação anterior convém referir que os sobressalentes são “os artigos não reparáveis, destinados à reparação dos conjuntos e subconjuntos.” (PDE 4-00, p. 8-5). Relativamente à manutenção, esta pode ser aplicada de duas formas, nomeadamente, Manutenção Preventiva (ManP) ou Manutenção Corretiva (ManC). A ManP é uma técnica de conservação dos equipamentos que visa substituir componentes antes que estes se tornem inoperacionais, a fim de minimizar problemas de funcionamento e aumentar a prontidão do material, evitando a sua degradação. Por outro lado, a ManC é realizada após a deteção de uma avaria e tem como objetivo restaurar o equipamento de modo a torná-lo

operacional novamente (PDE 4-00).

A manutenção no EP está organizada por níveis, sendo eles ManUn, Manutenção Intermédia (ManInt) [de Apoio Direto (A/D) e de Apoio Geral (A/G)] e Manutenção de Depósito (ManDep). A ManUn é um tipo de manutenção realizada pela guarnição, operador ou pessoal de manutenção da unidade, incidindo principalmente na conservação do equipamento e inclui reparações rápidas. Por outro lado, a ManInt tem como finalidade operacionalizar equipamentos completos devido à avaria de conjuntos ou subconjuntos. Esta ramifica-se em ManInt de A/D e ManInt de A/G. A ManInt de A/D apoia diretamente as Brigadas e tem como principais características: elevada mobilidade, substituição dos módulos avariados e a capacidade de organizar equipas de recuperação para apoiar sistemas específicos. Já a ManInt de A/G atua em apoio à ManInt de A/D ou a unidades que não pertencem às Brigadas e é realizada a nível das estruturas semifixas com a finalidade de apoiar o sistema de reabastecimento de TO através da reparação de equipamentos e componentes. As unidades modulares são constituídas por pelotões especializados em determinados artigos e têm a capacidade de atender a requisitos de missões especiais. A ManDep tem como objetivo reparar equipamentos e devolvê-los ao sistema de reabastecimento do Exército, fornecendo suporte tanto às forças de combate como ao programa de gestão do reabastecimento (PDE 4-00).

A manutenção no EP rege-se por oito princípios fundamentais, nomeadamente, o Comando e Gestão Centralizados (controlar tudo a partir de um único lugar), Execução Sistemática da manutenção do Utilizador (ManP a começar pelos operadores dos equipamentos/artigos), Controlo e Disciplina, Especialização (quanto maior o nível de manutenção, maior o investimento em maquinaria e na formação dos mecânicos), Adequação do Nível de manutenção (devem ser atribuídos ao mais baixo nível qualificado para a sua execução), Versatilidade (cada nível de manutenção deve realizar trabalhos de níveis inferiores), Economia (analisar os recursos disponíveis e o nível de risco assumido, de forma a estabelecer as modalidades de manutenção a implementar) e o Avanço na Recuperação (os trabalhos de manutenção devem ser executados, sempre que possível, no próprio local). Além disso, quando existe a implementação de medidas ou novas tecnologias na manutenção há que seguir os três indicadores fundamentais: Disponibilidade, Manutibilidade e a Fiabilidade (PDE 4-00). A Disponibilidade é a “capacidade de um bem estar em condições de desempenhar a função necessária num momento específico, supondo que os recursos externos necessários estejam disponíveis.” (BSI 13306, 2017, p. 17). A Manutibilidade é a “capacidade de um bem, sob determinadas

condições de utilização, para ser mantido ou recuperado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos.” (BSI 13306, 2017, p. 17). A Fiabilidade é a “capacidade de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo.” (BSI 13306, 2017, p. 15).

Atualmente o FA permite produzir sobressalentes para manutenção em pequenos lotes e com custos cada vez mais competitivos (Navas, Sancho & Carpio, 2020). Além disso, uma das atividades complementares da Manutenção é o Fabrico Local, que “consiste na produção de componentes em pequena escala, quando os mesmos não se encontram disponíveis no canal de reabastecimento” (PDE 4-00, p. 8-10). Esta atividade tem de ser realizada de acordo com as especificações do componente e, deve possuir no mínimo, as características do componente original (PDE 4-00). No futuro o FA será integrado com o reabastecimento, de modo a dar resposta às necessidades. O FA representa um salto disruptivo na conceção da manutenção. (Navas et al., 2020). O grande desafio é criar ferramentas e métodos que facilitem a identificação de sobressalentes adequados e auxiliem na otimização do processo (Cardeal, Sequeira, Mendonça, Leite & Ribeiro, 2021).

1.6 Fabrico Aditivo de Aplicação Militar

O FA tem mostrado potencial em aplicações militares, nomeadamente, prototipagem rápida, fabricação de sobressalentes e a produção no terreno. No entanto, o uso da tecnologia na indústria da Defesa é controlado por normas e regulamentos específicos que visam garantir a segurança, confiabilidade e interoperabilidade dos equipamentos e sistemas que ainda estão em desenvolvimento (Joyce, Louis & Seymour, 2014). Atualmente as tecnologias mais comuns que são usadas no âmbito militar são a DED, a MEX e a PBF. Estas tecnologias costumam usar o metal e os polímeros como material principal na fabricação de sobressalentes.

O Departamento da Defesa dos EUA emitiu um documento no qual estão delineados objetivos do FA e da sua integração na cadeia de reabastecimento, bem como o manuseamento e distribuição de matérias-primas compatíveis com esta tecnologia. Por outro lado, a cadeia de reabastecimento militar é uma rede cada vez mais complexa de moldar e planear, devido às suas diferenças em relação às típicas redes industriais (Doudnikoff, 2021).

As potências militares mundiais estudam o FA e já experimentaram o fabrico de

sobressalentes em ambiente operacional. No entanto não se sabe se algum destes países implementou o FA como parte logística a nível tático (Rautio & Valtonen, 2022). Embora o FA seja uma tecnologia recente e disruptiva, as Forças Armadas (FFAA) estão longe de explorar todo o seu potencial (Vicente, s.d.).

1.6.1. Organização do Tratado do Atlântico Norte

De acordo com a doutrina da OTAN, a logística define-se como “a ciência do planeamento e da execução do movimento e da manutenção das forças.” (Rautio & Valtonen., 2022) E de acordo com a mesma doutrina, a logística militar tem quatro pilares base, nomeadamente, eficiência, suficiência, simplicidade e flexibilidade (Rautio & Valtonen, 2022).

Deste modo, conseguimos entender o interesse desta organização no desenvolvimento do FA que maximiza estas capacidades logísticas. A OTAN está ciente dos benefícios do FA para a produção rápida e precisa de sobressalentes de uso militar. Esta organização está a trabalhar em colaboração com os Estados Membros e com a Indústria da Defesa para avaliar o impacto do FA nas áreas da segurança, eficiência de custos e tempo de resposta (Rautio & Valtonen, 2022). Com o objetivo de aproveitar todo o valor do FA, a OTAN, em conjunto com a sua comunidade científica e tecnológica, incluiu a capacidade de produção em ambiente operacional da Aliança, além da criação de uma “Biblioteca Digital da OTAN” que visa o armazenamento seguro e a partilha de pacotes de dados técnicos digitais em que todos os Estados Membros teriam acesso (great.gov.uk., 2022).

Neste momento, a OTAN está comprometida em garantir o uso do FA para aplicações militares, de modo a aumentar a sua segurança e confiabilidade. De referir que uma das prioridades desta organização visa o aumento da interoperabilidade entre os Estados Membros e dos seus equipamentos, incluindo a adoção de padrões comuns para o uso de tecnologias de FA (Rautio & Valtonen, 2022).

1.6.2. União Europeia

A UE, especialmente através da EDA, tem-se focado no desenvolvimento do FA desde 2014. A investigação da EDA focou-se em sete áreas principais, nomeadamente, Pesquisa e Desenvolvimento; Fabricação; Teste, Avaliação e Qualificação; Comissionamento e Treino; Operação e Manutenção; Requisitos Operacionais; Especificações Técnicas. As expetativas em torno do FA de aplicação militar enquadram

sobretudo a eficiência, suficiência no abastecimento, simplicidade, disponibilidade e flexibilidade (EDA, 2018).

A EDA tem um projeto que tem como objetivo desenvolver e promover o uso de tecnologias de FA na Defesa e na Indústria Aeroespacial Europeia, chamado FA para a Defesa e Aeroespacial (AMFaD). Este projeto é liderado pela EDA em colaboração com vários parceiros, incluindo a indústria, organizações de investigação e desenvolvimento, bem como os Estados Membros da UE. O objetivo principal deste projeto envolve a criação de uma rede de centros de excelência em FA na Europa, a fim de promover a partilha de conhecimento e experiências entre os envolvidos. Além disso, o projeto quer estabelecer padrões comuns para a produção de sobressalentes e componentes para garantir a qualidade e a confiabilidade dos sobressalentes produzidos por FA (Defense IQ, 2016).

Neste momento, a EDA criou uma instalação autónoma e interoperacional, que neste momento contém duas impressoras 3D, uma com tecnologia MEX e processamento FDM e outra com tecnologia MJ, e tem valências de ser transportável e certificada para ser aerotransportável. Após a aterragem, esta instalação de FA consegue ficar operacional numa hora (EDA, s.d.).

Deste modo, a EDA concluiu que a implementação do FA a nível militar pode mudar a forma como as operações, o apoio logístico e a manutenção são feitas (Pinto, 2019).

1.7 Benefícios e Limitações

O FA tem vários aspetos positivos e negativos relacionado com as suas potencialidades no setor da Defesa. Segundo Westerweel et al. (2018), como citado em Boer (2020) uma capacidade valiosa no que diz que respeito ao setor anteriormente mencionado é a capacidade de produção em locais remotos ou isolados, pois leva a uma redução dos custos operacionais e aumenta a disponibilidade dos sistemas. Esta capacidade reduz assim a dependência de fornecedores externos para fornecer sobressalentes e aumenta a facilidade e eficiência da manutenção, por exemplo, em TO. Outra vantagem associada ao FA em TO é a eliminação efetiva de atrasos logísticos relacionados com voos de sustentação (Gaska & Clement, 2016).

Geralmente o EP, como a maioria dos Exércitos, mantêm *stock* de sobressalentes e algumas desses sobressalentes não são usadas e acabam por se tornar inoperacionais e/ou obsoletas. De acordo com Antill & Smith (2017), a imprevisibilidade dos combates está a

aumentar cada vez mais, obrigando as FFAA a terem mais *stocks* de emergência. O FA, capaz de produzir eficazmente e em menos tempo, com um tempo de espera reduzido, pode ser uma solução para a diminuição de *stocks* e dos riscos associados à inoperacionalidade dos equipamentos (Ford & Despeisse, 2016). Além disso, as cadeias de abastecimento ficam mais simples e curtas, adotando uma produção mais localizada (Boer, Lambrechts & Krikke, 2020).

Num estudo feito nas FFAA holandesas, detetou-se que o FA pode ser usado para a personalização de determinados sobressalentes, ajustando a mesma a cada militar, aumentando o seu desempenho no campo de batalha. Outra alternativa é ajustar ou modificar um determinado sobressalente obsoleto para ser usado noutra sistema. Além disso, vários elementos entrevistados nesse estudo, quando em contacto com esta tecnologia, afirmaram que os sobressalentes feitos através do FA são de melhor qualidade, nomeadamente, mais leves, mais fortes e mais bem projetadas do que os sobressalentes produzidos de forma convencional (Boer et al., 2020).

O avanço tecnológico trará uma maior “implementação de Impressoras 3D nas Áreas de Operações. É possível que o pessoal de manutenção fabrique componentes para uso imediato. Isso pode ajudar a reduzir a carga transportada pelas forças, o que, por sua vez, reduz a complexidade logística.” (Seah et al., 2016)

Apesar das inúmeras vantagens que o FA traz para o setor da Defesa, existem ainda algumas limitações. Existe ainda constrangimentos legais na introdução do FA neste setor devido a falta de certificações no que diz respeito a garantias de qualidade, desempenho e segurança. Este tópico é de elevada relevância, especialmente para sobressalentes de FA utilizados em equipamentos ou sistemas sensíveis e que têm riscos elevados em caso de falha da mesma, como é o caso de sobressalentes de aeronaves e sobressalentes de sistemas de armamento (Fleury, 2020). Como consequência, é necessário, além da formação de pessoal para operar nos equipamentos de FA, a implementação de um programa específico de formação que dará a valência e autoridade técnica para certificar os sobressalentes fabricados através destes processos (Fleury, 2020).

Outras desvantagens associadas a esta tecnologia envolvem não só as limitações de tamanho na produção dos sobressalentes que estão restritos ao tamanho do equipamento, bem como limitações a nível da escalabilidade da produção (a nível da velocidade de produção, tamanho e volume dos sobressalentes, materiais disponíveis e, em alguns casos, custos de produção). Além disso, o custo elevado no investimento inicial dos equipamentos, comparativamente com o FT representam outra limitação na implementação desta tecnologia

por parte do EP (Cunningham, Schrader & Young, 2015). Niaki, Nonino, Palombi & Torabi, 2019 concluiu também que o FA não consegue competir com o FT para produções em massa, devido aos princípios das economias de escala. As economias de escala “resultam da relação inversa entre a quantidade de produção e o custo fixo por unidade” (Niaki et al, 2019, p. 361), o que não acontece com o FA (Niaki et al, 2019). Atualmente, a tecnologia de FA tem a capacidade de fabricar sobressalentes utilizando vários materiais, o que maximiza a flexibilidade de projeto e melhoramento dos sobressalentes comparativamente com os originais. No entanto, apenas existem alguns desses sistemas, ou seja, ainda são necessários mais avanços tecnológicos para aumentar esta potencialidade, visto ser uma tecnologia disruptiva e ainda pouco madura (Cunningham et al., 2015).

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

Esta investigação baseia-se nas Normas para a Redação de Trabalhos de Investigação, NEP 522/1.^a/AM (Academia Militar, 2016), em toda a sua estrutura e formatação. A nível temporal, a recolha de informação realizada, com vista à elaboração da presente dissertação focou-se no período posterior a 2016. A nível espacial, a presente dissertação abrange o plano nacional, bem como o plano internacional. O conteúdo envolve a implementação do FA na cadeia logística militar, na manutenção, nas FND e na sua utilização operacional. Nos próximos subcapítulos encontram-se os objetivos, as perguntas da investigação, os instrumentos de recolha de dados e a seleção da amostra.

2.1 Objetivos

Os objetivos desta investigação estão divididos em três OE, direcionados para o OG da presente dissertação:

OE1: Identificar as tecnologias de FA atuais;

OE2: Compreender a aplicação do FA em ambiente operacional em unidades escalão Companhia e Batalhão;

OE3: Identificar os benefícios e limitações do FA face ao ciclo de vida;

OG: Avaliação das implicações do FA no EP, aplicado em ambiente operacional às unidades escalão Companhia e Batalhão.

2.2 Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas

Após a definição de objetivos inerentes à problemática do TIA foi importante formular as PD e a PP correspondente de forma a canalizar e guiar a investigação.

PD1: Quais as tecnologias atuais do FA?

PD2: Quais as aplicações do FA em ambiente operacional para unidades escalão Companhia e Batalhão?

PD3: Quais são os principais benefícios e limitações do FA face ao seu ciclo de vida?

PP: Quais as inferências da implementação do FA no EP?

2.3 Instrumentos de Recolha de Dados

O tema da investigação é muito abrangente tais são as áreas de aplicação do FA. Consequentemente, esta dissertação foi focada na manutenção, por ser a área mais desenvolvida neste tipo de tecnologia e por ter aplicação no EP. Nesta dissertação foi

seguido o método de raciocínio indutivo, associado a uma abordagem qualitativa, materializada maioritariamente em análise documental, complementada por entrevistas semiestruturadas. O raciocínio indutivo “corresponde a uma operação mental que tem como ponto de partida a observação de factos particulares para, através da sua associação, estabelecer generalizações que permitam formular uma lei ou teoria.” (Santos et al., 2014, p. 13) e uma abordagem qualitativa é um estudo cuja “interpretação dos fenómenos sociais e a atribuição dos respetivos significados é feita a partir de padrões encontrados nos dados” (Vilelas, 2009, p. 105 citado em Santos et al., 2014, p. 18).

As entrevistas foram realizadas a Oficiais do EP que, através da sua experiência em Forças Nacionais Destacadas, tiveram contacto e trabalharam com a produção ou manutenção de sobressalentes através do FA. Com o objetivo de determinar as perguntas da entrevista foi produzido um modelo de análise (Apêndice C), de modo a instrumentalizar conceitos, qualificar dimensões, indicadores e técnicas de recolha de dados.

A opção metodológica escolhida permitiu-nos comparar e validar os dados da análise documental com a informação obtida nas entrevistas, aumentando assim a credibilidade dos argumentos e a viabilidade desta dissertação.

2.3.1 Análise Documental

A revisão da literatura foi uma das partes mais cruciais desta investigação, pois através da mesma conseguiu-se identificar, analisar e perceber informação fundamental para o desenvolvimento da dissertação. Desta análise documental destacam-se, não só as tecnologias atuais de FA, mas também quais são utilizadas no setor da Defesa. Também, a identificação de várias potências militares a nível global e a realização de uma pesquisa bibliográfica com o intuito de perceber como é que se insere o FA nas FFAA dos respetivos países.

As fontes da pesquisa bibliográfica são, maioritariamente artigos científicos, incluindo também notícias, publicações online, livros, publicações doutrinárias e normas de padronização internacional.

2.3.2 Entrevistas

De acordo com Ghiglione e Matalon (1997) como citado em Santos et al (2014), existem três tipos de entrevista, nomeadamente, entrevista não estruturada, entrevista semiestruturada e entrevista estruturada. Nesta investigação foram efetuadas entrevistas

semiestruturadas (Apêndice E) pois, a valência de verificação e aprofundamento da informação presente neste tipo de entrevista era essencial para confirmar e comparar os dados obtidos na análise documental anterior (Santos et al., 2014).

As entrevistas, foram realizadas por via telemática e em alguns casos, por indisponibilidade do entrevistado, as respostas foram reunidas por escrito.

2.3 Seleção da Amostra

Nesta dissertação, a amostra em contexto internacional foi conseguida através da análise documental referente a dez países, nomeadamente, Espanha, Países Baixos, França, Alemanha, Finlândia, EUA, Austrália, Inglaterra, Ucrânia e Israel. Em contexto nacional foi realizado um estudo através de pesquisa documental e entrevistas. A escolha dos entrevistados foi efetuada tendo por base o contacto dos mesmos com o FA, em Forças Nacionais Destacadas, onde assumiram a função de Chefes do Módulo de Manutenção, bem como o seu conhecimento na matéria.

Quadro 1 - Entrevistados

Entrevistado	Nome
N1	Ten Mat Pinheiro
N2	Ten Mat Machado
N3	Cap Mat Magalhães
N4	Ten Mat Silva
N5	Ten Mat Bernardo
N6	Cap Mat Pereira
N7	Cap Mat Santo

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS

No presente Capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio de uma investigação sobre as tecnologias, técnicas e processos de FA, através de uma amostra de dez potências militares a nível mundial, com o objetivo de revelar estratégias valiosas sobre as abordagens adotadas por estes países para enfrentar desafios específicos e otimizar os processos no setor logístico. Neste sentido, é possível identificar as soluções já consolidadas como as inovações emergentes e também os principais investimentos e políticas governamentais e militares, bem como parcerias público-privadas que fomentaram a adoção dessas mesmas estratégias de emprego. Posteriormente é apresentada a análise referente à utilização atual e futura do FA no contexto do EP. Estes resultados estão expostos nos próximos dois subcapítulos através de pesquisa documental baseada em artigos científicos, fontes governamentais e notícias.

No terceiro subcapítulo estão explanadas as respostas das entrevistas realizadas a especialistas e profissionais nacionais de destaque na temática.

No final deste Capítulo, é apresentada uma visão aprofundada das tecnologias, técnicas e processos empregues pelos vários países, bem como as perspetivas e experiências dos entrevistados.

3.1 Fabrico Aditivo em Contexto Internacional

3.1.1 Espanha

Espanha é um dos principais países promotores do FA. Na Defesa é utilizada a tecnologia PBF para fabrico de sobressalentes metálicos e a tecnologia MEX é utilizada essencialmente para sobressalentes de polímero (Romero et al., 2019).

Em 2022, após a parceria do Exército com a empresa *Triditive™*, especializada em FA, foi implementado a primeira plataforma *Amcell 1400* no Parque de Armas e Material de Artilharia do Exército Espanhol e Centro de Manutenção, que permite aumentar a produtividade no setor da Defesa. Este aumento deve-se à possibilidade de fabrico de sobressalentes com formas complexas que não são possíveis de serem alcançadas no FT e têm custos reduzidos para uma produção em pequena escala (ADDIMAT, 2022). Após esta implementação “... vários sobressalentes foram fabricados aditivamente em metal e polímeros para diferentes tipos de aplicações no setor da Defesa.” (ADDIMAT, 2022).

3.1.2 Países Baixos

Nos Países Baixos as tecnologias de FA usadas pelas FFAA variam entre PBF e MEX (DefesaNet, s.d.). Apesar de não haver incentivo económico no investimento em FA já foram testados sobressalentes, verificando-se que 15-30% das sobressalentes avaliadas são viáveis de fabricar através desta tecnologia (Balistreri, 2015). Na Marinha dos Países Baixos são usadas impressoras com a tecnologia MEX, de alto desempenho a bordo dos navios, nomeadamente da família *Funmat 3D*. Deste modo, conseguem produzir sobressalentes de polímero vinte e quatro horas por dia. Na Força Aérea é usado o FA originário da empresa *Ultimaker™* (DefesaNet, s.d.), que tem como tecnologia base a MEX (Ultimaker, s.d.).

O Exército deste país fez uma parceria com a empresa *DiManEx™* em 2015, após enfrentar dificuldades na substituição de sobressalentes danificados dos veículos *Fennek* no Mali, devido ao clima desértico e a necessidade de entrega rápida (DefesaNet, s.d.). Em 2017, para solucionar este problema foi criado um Centro de FA no local com a impressora *Markforged Mark II*, que usa tecnologia MEX, conjuntamente com a empresa *DiManEx™* e a *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)*, começaram a produzir sobressalentes para os respetivos veículos. Verificou-se que após a implementação de FA no Mali, os custos operacionais reduziram em 47% e o armazenamento diminuiu 72% (Westerweel, Basten, Den Boer & van Houtum, 2021).

A partir de 2018, o *Comando de Logística de Material (MatLogCo)* assinou uma carta com a intenção de cooperar com a empresa *DiManEx™* na implementação do FA na sua cadeia logística. Após este acordo, o Exército já tem vinte mil sobressalentes em formato digital na plataforma da *DiManEx™* que podem ser impressas a qualquer momento. Além disso, está agora a ser testada a possibilidade de usar polímero reciclado como matéria-prima para imprimir filamentos, tornando o processo ainda mais sustentável (DefesaNet, s.d.).

3.1.3 França

Atualmente a França possui um dos maiores grupos de FA (*3D printing farms*) militar da Europa e as tecnologias utilizadas são a PBF e a MEX (3D Print, 2020). Neste país, a *Structure Intégrée du Maintien en condition opérationnelle des Matériels Terrestres (SIMMT)*, além de fazer parte da Infantaria, está encarregue da manutenção do Exército. O SIMMT dedica-se com as inúmeras vantagens do FA, principalmente na manutenção de veículos, reparação de sobressalentes e fabrico de ferramentas

(3YOURMIND, 2021).

Em 2019, o Exército iniciou a colaboração com duas empresas de FA, a *Prodways*TM e a *HAVA3D*TM (3D Print, 2020). Em 2020, o Exército adquiriu 60 impressoras *Ultimaker FDM 3D*, que foram distribuídas aos vários RMan (3YOURMIND, 2021). Nesse mesmo ano, adquiriram e integraram duas impressoras industriais *Prodways*, a *ProMaker P1000*, para fabrico de sobressalentes de polímero de alto desempenho para uso funcional (3D Print, 2020). Uma destas impressoras industriais foi colocada num contentor próprio para ser transportada e implementada em operações externas, enquanto que a segunda equipa foi instalada na 13^a *Base de Soutien du Matériel* (BSMAT), que garante o apoio operacional da cadeia de FA francesa. O grupo *Prodways*TM forneceu os materiais necessários e deu formação aos operadores das máquinas (Prodways, s.d.).

O Exército, auxiliado pela *HAVA3D*TM, já projetou impressoras 3D para diversos TO em bases remotas, nomeadamente no Mali, Níger e Líbano (3D Print, 2020). Além da simplificação destas operações, a implementação do FA nestes locais permitiu ainda acelerar a cadeia de abastecimento, reduzir custos financeiros e aumentar a disponibilidade (3D Printing, 2019).

3.1.4 Alemanha

A empresa alemã *Toolcraft*TM, dedicada à produção de componentes de alta qualidade e durabilidade usando tecnologias avançadas, tem vindo a dar resposta às necessidades das FFAA através da produção de sobressalentes para equipamentos militares através do FA (Toolcraft, s.d.). Além desta empresa, a *Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-und Betriebsstoffe*TM (WiWeB) está também intimamente ligada à produção de sobressalentes e de prototipagem rápida, em coordenação com o *Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr* (BAAINBw). As tecnologias de FA usadas pelas FFAA, em parceria com estas empresas, são a PBF e a MEX (Atzberger, Montero, Company, Schmidt & Bleckmann, 2018).

Atualmente, quando as FFAA necessitam de um sobressalente, o trabalho é maioritariamente realizado pela WiWeB. Este Instituto está sediado na Alemanha e é solicitado para fabricar sobressalentes através do FA sempre que as FFAA precisam de um sobressalente que não está disponível, que não se consiga obter a mesma pelos meios habituais ou como ato preventivo, ou seja, quando há falta de *stock* de um determinado sobressalente no armazém (Atzberger et al., 2018).

Em 2017, a Alemanha teve a sua primeira experiência com o FA em operações, no

Afeganistão, durante a operação *Resolute Support*, liderada pela OTAN, em que trabalhou com a sua primeira impressora 3D no local, que usava a tecnologia MEX. Esta tecnologia conseguia responder aos requisitos dos militares nas operações mais rapidamente e este módulo era liderado pelo Comandante de Companhia de Logística. Concluiu-se que sobressalentes com pouca complexidade podem ser executadas pelos militares no local e, caso seja necessário fabricar sobressalentes mais complexos, estas podem ser produzidas pelos especialistas na Alemanha (ArmyRecognition, 2018). A WiWeB recebe os pedidos de sobressalentes necessários, através de fotografias ou texto e, dependendo da situação pode imprimir na Alemanha e enviar o sobressalente posteriormente para o local ou, pode enviar o ficheiro digital de impressão para a área de FA e o fabrico ser realizado no local (Atzberger et al., 2018). No entanto, sobressalentes de armas e sobressalentes específicos de viaturas ou aeronaves não podem ser impressas no local por questões de certificação (ArmyRecognition, 2018).

3.1.5 Finlândia

Em 2014, a Finlândia foi o país pioneiro na comercialização de equipamentos de FA (Etteplan et al., 2019) e, em 2020, foi criado o *Finnish Additive Manufacturing Ecosystem* (FAME) que permite que as empresas finlandesas da indústria de FA se unam e partilhem recursos. No FAME estão inseridas dezassete empresas do país até ao momento (Goulding, 2022). Além do FAME, a Finlândia está inserida no *Additive Manufacturing Center of Excellence* (AMCE) que visa a troca de informação, pesquisa, educação e produção entre vários países do mundo, proporcionando assim um conhecimento internacional. No AMCE podem ser pesquisados e fabricados componentes militares predominantemente com tecnologia PBF (Etteplan et al., 2019).

Este país tem como objetivo futuro influenciar a cadeia logística militar através do FA, na medida em que, os militares que estão em ambiente operacional podem ter uma impressora 3D na sua posse ou localizada perto dos mesmos e podem reparar ou produzir equipamentos ou sobressalentes. As FFAA Finlandesas estão a conduzir os seus esforços na envolvimento com o AMCE, de modo a evoluírem o conhecimento, a produção de sobressalentes de metal e o próprio treino dos seus militares através desta organização (Etteplan et al., 2019).

Em 2018, a Força Aérea produziu um sobressalente para o motor de uma aeronave em conjunto com a empresa *Paria*TM, pertencente à FAME (Salminen, 2018). O sobressalente foi produzido através da tecnologia PBF e funcionou com sucesso

(Chandavarkar, 2018).

3.1.6 EUA

Atualmente, os EUA é o país que lidera em termos de aplicações do FA de metais na Defesa (Roca, Vaishnav, Fuchs & Morgan, 2016).

As máquinas de FA podem ser colocadas em vários níveis das organizações militares. Consequentemente foram criados centros de impressão para atender às necessidades das FFAA em diferentes países. Além da produção de sobressalentes, estes centros são usados também para pesquisa e atendem a diversas necessidades e exigências (Rautio & Valtonen, 2022). De referir que estes centros só se encontram nos níveis mais altos da logística e não se destinam a apoiar tropas isoladas em operações (Washington, D. C., 2021).

O ramo das FFAA dos EUA que desenvolveu mais o FA em 2022 foi a Marinha, sendo que produziu mais de três centenas de sobressalentes. Os fuzileiros concluíram que o FA pode ajudar na manutenção das viaturas e, em conjunto com batalhões de manutenção e parceiros industriais, fabricaram vários componentes, nomeadamente volantes metálicos (Ficzere, 2022). Nos EUA um dos responsáveis principais pelo FA é o Primeiro Batalhão de manutenção em conjunto com a empresa *Carbon3D™*. Este Batalhão está equipado com uma máquina Fortus 250MC, que usa tecnologia MEX. Esta máquina e os materiais associados podem ser carregados através de um reboque expedicionário de manutenção, transportados para outro local e estar operacional em duas horas ou numa hora, usando um gerador ou eletricidade fornecida localmente, respetivamente. Além disso, o contentor e o reboque conseguem suportar condições atmosféricas adversas, podendo ser transportados para locais remotos sob quaisquer condições meteorológicas. Este Batalhão oferece os seus serviços essencialmente ao Corpo de Fuzileiros Navais. Relativamente a unidades como Batalhões de Infantaria e Batalhões de Logística de Combate, estes podem apenas possuir uma impressora 3D de mesa, o que permite imprimirem remotamente sem necessidade de assistência. No nível intermediário temos então os Batalhões de Manutenção com mais meios e equipados com mais impressoras, scanners e materiais. Outras unidades teriam modelos maiores e menos móveis de impressoras a nível de depósito, que permitiriam o fabrico de sobressalentes metálicos de maior dimensão (Daugherty & Heiple, 2017).

3.1.7 Austrália

Em 2020, o Exército anunciou uma parceria com a *SPEED3D*TM, empresa dedicada ao FA de sobressalentes metálicos com a tecnologia PBF (SPEE3D, 2021). O *First Combat Service Support Battalion* (1CSSB), em conjunto com esta empresa, implementaram a primeira oficina mecânica com maquinaria de FA, que permite não só o fabrico de sobressalentes, mas também pós-processamento e tratamento térmico das mesmas. Esta maquinaria tem mobilidade tática e consegue produzir sobressalentes metálicos até 40 quilogramas, a uma velocidade recorde de 100 gramas por minuto (Defence, 2020).

Segundo o Comandante do 1CSSB, o Tenente-Coronel Kane Wrigh & Roberts (2020), garante que esta força está a trabalhar com impressoras 3D de média e grande dimensão comercial, direcionadas para sobressalentes.

A execução tática do FA é alcançada através de uma secção de produção especializada neste tipo de fabrico, denominada *Rapid Fabrication via Additive Manufacturing on the Battlefield* (R-FAB), a fim de efetuar reparações expeditas do equipamento essencial da respetiva missão. Esta capacidade seria fornecida à unidade através de três módulos de manutenção equipados para produzir sobressalentes, poliméricos e metálicos, que não comprometem a segurança nem necessitam de certificação. O FA a nível tático é limitado em tamanho (20cm^3) e adequa-se à maioria das condições de funcionamento. A execução operacional do FA é conseguida através da Man A/G, materializada pelo Pelotão de Manutenção, pertencente à 17^a Brigada de Manutenção. Esta Unidade de Manutenção visa a criação de sobressalentes de alta qualidade e conjuntos principais que podem suportar condições extremas, ter uma especificação concreta e receber a certificação para utilização (Wright & Roberts, 2020).

Ao longo do ano 2021, a empresa *SPEED3D*TM ajudou a treinar, formar e especializar os primeiros militares da *Additive Manufacturing Cell* (AMC), “desde o projeto, a impressão, maquinação, tratamento térmico e até a certificação” (3D Print, 2021). Posteriormente realizaram uma aplicação prática, que se transformou num sucesso, na produção e substituição de sobressalentes de M113 em ambiente operacional. A impressora foi transportada durante 600 quilómetros, em terreno acidentado, sob condições adversas e conseguiu produzir uma dúzia de sobressalentes para a viatura referida anteriormente (3D Print, 2021).

3.1.8 Inglaterra

O Exército Britânico tem o FA implementado e a sua primeira impressora em operações militares foi a *Lulzbot TAZ 6 3D*. Esta impressora utiliza a tecnologia MEX (3D Printing Industry, s.d.). Além da tecnologia MEX, as FFAA contam também com a tecnologia PBF, que se encontra essencialmente, no Esquadrão 71 da Força Aérea, num novo centro de FA. Este centro tem como finalidade a manutenção e substituição de sobressalentes metálicos das FFAA (Claire, 2022).

Recentemente e após o sucesso da *SPEE3D™* na Austrália, o Exército Britânico decidiu comprar impressoras desta empresa e contratá-la para dar formação aos engenheiros eletrónicos e mecânicos durante dois anos (Wright, 2023). A *Babcock™*, uma empresa especializada na produção de sobressalentes através do FA, está juntamente com o Departamento da Defesa a produzir sobressalentes obsoletos quando e onde for necessário. Esta empresa abriu um novo centro de FA em fevereiro de 2022. No início do ano de 2023, a *Babcock™* produziu os primeiros sobressalentes de metal que foram usados no sistema de periscópio de viaturas blindadas (ArmyTechnology, 2023).

3.1.9 Ucrânia

As FFAA estão a desenvolver e a investigar formas e técnicas de implementar o FA na sua logística, especificamente para a produção de sobressalentes de cerâmica com boas propriedades mecânicas e funcionais para equipamentos militares (Zgalat-Lozynskyy, 2022).

Apesar de ainda não ter o FA oficialmente implementado nas suas fileiras, devido à guerra que decorre no país contra a Rússia, a empresa ucraniana de impressão 3D, *3D Tech Additive™*, desenvolveu uma base de dados de sobressalentes fundamentais para os militares ucranianos, entre elas, punhos de AK-47, bolsas de transporte de granadas e, mais recentemente, lentes para miras das armas (Verma, 2022). No entanto, uma vez que a empresa conta apenas com trinta impressoras funcionais, vários países aliados que têm vindo a fornecer armas, munições e equipamentos para ajudar a Ucrânia, têm também fornecido sobressalentes, maquinaria e materiais de FA com tecnologia MEX (ElectronicSpecifier, 2022). Esta iniciativa é liderada por Organizações Não-Governamentais (ONG), nomeadamente a *TeenCrunch*, *Sygnis SA* e *3YOURMIND*, associadas a países como a Polónia e a Alemanha (3YOURMIND, 2022).

Neste momento, a Ucrânia possui ao seu dispor mil impressoras 3D FDM de tecnologia avançada MEX, conseguindo fabricar, se necessário, dez mil sobressalentes

por dia. Segundo o *Chief Executive Officer* (CEO) da *Sygnis*TM, Andrzej Burgs, conseguiram produzir cotoveleiras, joelheiras, torniquetes, periscópios e até drones (Harper, 2022). Após a aplicação do FA em tempo de guerra, comprovou-se que é extremamente útil devido à sua flexibilidade e velocidade, podendo ser instaladas em vários locais e controladas remotamente através da partilha de ficheiros digitais entre os países aliados e ONG com as FFAA Ucrainianas (Feldman, 2022).

3.1.10 Israel

As FFAA Israelitas são uma das potências militares a nível de desenvolvimento de tecnologia, aplicando-se esta tendência também ao FA. Relativamente ao FA, as FFAA contam com o apoio da *Laser Modeling Israel*TM (LMI), que usa tecnologias PBF, MEX e MJ (Military – lmi, s.d.).

As Forças de Defesa de Israel (IDF) estão a usar o FA essencialmente para restaurar equipamentos e para sobressalentes (Benedict, 2016). No entanto, outras aplicações têm sido postas em prática e, em 2020, o primeiro *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) foi impresso através do FA com tecnologia PBF. Este UAV chama-se *SkysPrinter* e, atualmente, é possível produzi-lo em ambiente operacional quando oportuno (Lappin, 2020).

Atualmente o Ministério da Defesa de Israel está a desenvolver o projeto “*Marvad Project*” que visa a investigação e implementação da tecnologia de FA DED nas suas fileiras (State of Israel, s.d.).

3.1.11 Síntese Conclusiva

Analisando os resultados acima, todos os países utilizam tecnologias e processos de FA idênticos a nível militar como demonstrado no Apêndice D. Com base nos dados mencionados nos subcapítulos anteriores, vários países como, Espanha, Países Baixos, França, Alemanha, Finlândia, EUA, Austrália, Inglaterra e Israel estão a implementar o FA na sua cadeia logística militar. De referir que, a realização de parcerias com empresas civis especializadas em FA tem sido muito comum nestes países para, além da produção, formar, treinar e dar suporte técnico aos militares operadores dos equipamentos. Denotar que a produção de sobressalentes é uma das maiores prioridades em todos os países, que tem resultado na redução de custos e no melhoramento da disponibilidade operacional das unidades militares. A produção de sobressalentes em formato digital e a possibilidade de utilizar materiais reciclados são considerações importantes em alguns países, sobretudo

nos Países Baixos. Esta progressão tecnológica na utilização de materiais reciclados potencia a sustentabilidade do FA.

Relativamente ao nível de manutenção em que o FA está integrado nestes países podemos constatar que o mesmo tem sido aplicado em diferentes níveis, desde o nível um, na ManUn, onde produzem sobressalentes mais simples e que podem ser executadas por militares sem formação técnica na área até à produção de sobressalentes mais complexos que representam os níveis dois e três de manutenção. Além disso, alguns dos países como França, Alemanha, EUA e a Austrália já produziram sobressalentes em ambiente operacional, podendo as mesmas serem fabricadas remotamente. De assinalar ainda que, os países mencionados anteriormente possuem Módulos ou Equipas de Manutenção especializadas em FA e que estão responsáveis pelos equipamentos e pela produção em TO.

Em países afetados por guerras, como é o caso da Ucrânia, a utilização do FA tem-se mostrado útil devido à flexibilidade, velocidade e capacidade de produção localizada. De referir ainda que a partilha de ficheiros digitais entre países aliados e ONG têm facilitado a coordenação e apoio, aumentando a capacidade de resposta. De salientar as recentes investigações que estão a ser feitas por parte de Israel com o intuito de implementar a tecnologia DED nas FFAA.

Em suma, a utilização do FA a nível militar está a tornar-se cada vez mais popular em diversos países, proporcionando benefícios como redução de custos operacionais, aumento da disponibilidade dos produtos e capacidade de produção de sobressalentes no local, mesmo aquelas que se tornaram obsoletas. A parceria com empresas civis especializadas em FA e a capacidade de produção localizada são aspetos cruciais para o sucesso da implementação do FA nas FFAA.

3.2 Fabrico Aditivo em Contexto Nacional

O Comando da Logística no EP é repartido em três níveis de apoio principais, nomeadamente, Direção de Material e Transportes (DMT), a Direção de Aquisições (DA) e a Direção de Infraestruturas do Exército (DIE). A DMT tem três unidades subordinadas, nomeadamente, a UAGME, o RMan e o Regimento de Transportes (RTransp) que garantem a sustentação do EP através da Gestão Integrada do Reabastecimento, Transporte e Manutenção (PDE 4-46-00, p. 2-4).

O EP não tem o FA integrado na sua cadeia logística e no sentido de investigar uma possível implementação foi financiado o projeto ALSAM pelo CINAMIL. Neste projeto

fazem parte investigadores do RMan, do CINAMIL, IST e da UAGME. O objetivo deste estudo visa o desenvolvimento e implementação de soluções de FA para auxiliar a manutenção no EP. Além disso, este projeto tem como finalidade capacitar o EP com técnicas e recursos que permitam o fabrico de sobressalentes, considerando a sua utilização em operações militares e operações de apoio civil (Gomes, 2023). Está ainda a ser estudada a possibilidade da “aquisição de um módulo *Shelter*, por Brigada, no sentido de garantir esta capacidade de forma transversal, cujos meios estariam concentrados nas Companhias de Manutenção respetivas, e ainda um módulo projetável para FND.” (Gomes, 2023, p.38).

A implementação do FA está a ser estudada por níveis de manutenção, sendo que a nível de ManUn o objetivo seria a substituição de sobressalentes simples e que não necessitem de pessoal especializado ou equipamentos específicos. No âmbito da ManInt A/D seriam então utilizadas ferramentas mais complexas e específicas, carecendo de pessoal formado e especializado em FA, empregando no reacompanhamento da LNO e LNA. Neste nível de manutenção seria benéfico a utilização de um Módulo *Shelter*. A ManInt A/G teria a finalidade de apoiar a Man A/D. Consequentemente, a ManDep assegurava a gestão da base de dados dos sobressalentes fabricados com o FA e, se possível, o desenvolvimento de protótipos (Cavaleiro, 2023).

Atualmente, a UAGME, RMan, AM, bem como as FND presentes na RCA e na Roménia dispõem de maquinaria de FA. Estes equipamentos utilizam a tecnologia MEX, especificamente FDM, cuja principal utilização é a produção de sobressalentes (Avelar, 2022). No presente momento, como referiu Silva, P., já foram produzidos “adaptadores de cabos elétricos para a Viatura Blindada de Rodas (VBR) PANDUR II 8x8, sobressalentes de fixação dos óculos de visão noturna AN/PVS-14 ao capacete e diversos encaixes para a espingarda automática FN SCAR” (Avelar, 2022).

3.3 Entrevistas

De seguida são apresentadas de maneira estruturada e abrangente as respostas das entrevistas, que representam uma fonte rica de dados qualitativos e visam a confirmação das informações obtidas anteriormente, identificando lacunas associadas à mesma, bem como constatarem que tipo de utilização é realizada no EP relativamente ao FA.

Estas entrevistas semiestruturadas foram realizadas a 7 oficiais do EP que trabalham e já tiveram contacto com o FA, como descrito no Capítulo 2 desta investigação.

De modo a realizar o que foi descrito anteriormente, de acordo com o modelo de

análise definido, foi desenvolvido um guião de entrevista, presente no Apêndice E. Além disso, foi realizado um enquadramento da entrevista na estrutura da investigação (Apêndice F). Posteriormente foi criado um quadro onde são apresentados os excertos mais relevantes das entrevistas (Apêndice G).

De seguida, a apresentação dos resultados será realizada pela ordem das perguntas da entrevista, associadas às PD e será feita uma análise qualitativa dos resultados (Santos & Lima, 2019).

3.3.1 Tecnologias de Fabrico Aditivo

Na entrevista realizada, as perguntas 1, 3 e 4 foram efetuadas com o objetivo de perceber as tecnologias atuais de FA associadas ao EP, bem como os seus custos, tempo de produção e aplicações. No Quadro 2 está explanado as respostas dos entrevistados sobre as tecnologias atuais de FA em uso nas FFAA.

Quadro 2 - Resultados relativos à pergunta 1

Qual(ais) a(s) tecnologia(s) de FA que está(ão) em uso nas FFAA atualmente?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
A.1.1 - MEX	X	X	X	X	X	X	X	100%
A.1.2 - PBF								0%
A.1.3 - MJ								0%
A.1.4 - Outros	X	X						29%

Os resultados indicam que 100% dos entrevistados apontam o uso da tecnologia MEX, nomeadamente FDM, por parte do EP. De referir ainda que, 29% dos entrevistados referiram o processo SLA, pertencente à tecnologia VPP, como uma das tecnologias também utilizadas. No Quadro 3 são apresentadas as respostas dos entrevistados relativamente aos custos e tempos de produção do FA comparativamente com o FT.

Quadro 3 - Resultados relativos à pergunta 3

Como qualifica a complexidade do processo de FA, relativamente ao FT, tanto a nível de tempo de produção como de custos?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	

A.3.1 - Menor tempo de fabrico			X	X			X	43%
A.3.2 - Menor custo de fabrico	X	X		X	X	X	X	86%
A.3.3 - Depende do volume de fabrico	X	X						29%
A.3.4 - Outros	X		X	X	X			57%

No que diz respeito à pergunta 3, podemos deduzir que os custos associados ao FA são mais baixos, comparativamente ao FT (86%). A nível de tempo de produção o FS continua a ser mais rápido que o FA, principalmente para grandes volumes de produção e se os sobressalentes produzidos não forem de grande dimensão. Outras respostas relevantes para o estudo no que concerne ao A.3.4. que tiveram uma taxa de 57% de resposta são apesar do estudo revelar que o tempo do FA é mais lento, este pode reduzir o tempo de espera do fornecedor bem como reduzir os custos logísticos associados, se tivermos uma impressora no local. Abaixo encontra-se o Quadro 4 que tem como objetivo identificar os custos do investimento inicial, custos de operação e custos de manutenção do FA.

Quadro 4 - Resultados relativos à pergunta 4

Quais os custos associados ao FA, nomeadamente do investimento inicial (4.1), operação (4.2) e manutenção (4.3) (valores indicativos)?								
Resposta	Legenda: C – Compósito; M – Metal; P – Polímero;							%
	Entrevistado							
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
A.4.1.1 - Acima de 50000€	C/M	M						14% C 29% M
A.4.1.2 - Abaixo de 50000€	P	P		P	P		P	71% P
A.4.2.1 - Acima de 50€/kg		SLA/M						14% SLA/M
A.4.2.2 - Abaixo de 50€/kg	X				X			29%
A.4.3.1 - Irrelevante		X	X		X			43%
A.4.3.2 - Depende do Operador	X							14%
A.4.3.3 - Outros						X		14%

Nesta pergunta percebemos que os equipamentos, ou seja, o investimento inicial em impressoras de compósito e metais é muito maior relativamente a impressoras de polímeros.

O custo de operação é relativamente barato em máquinas de polímeros com tecnologia MEX/FDM, sendo que o mesmo em tecnologias de metais e VPP, nomeadamente, SLA são mais dispendiosas. 43% dos entrevistados consideraram que os custos de manutenção das impressoras MEX/FDM são desprezáveis e 14% considerou que os custos de manutenção estão diretamente relacionados com o cuidado que o operador tem com o equipamento.

3.3.2 Aplicações em Ambiente Operacional

As perguntas da entrevista relacionadas com o emprego do FA, em ambiente operacional, são as perguntas 2, 5 e 6. Na pergunta 2 foram identificadas o tipo de manutenção que é usado FA no EP, associando o material utilizado e a Lista de Níveis de Orgânicos (LNO) e/ou Lista de Níveis de Apoio (LNA), presente no Quadro 5. Além disso, esta análise foi realizada também a nível futuro de implementação do FA no EP (Quadro 6).

Quadro 5 - Resultados relativos à pergunta 2

Preencha o seguinte quadro de acordo com as capacidades atuais de FA em cada tipo de unidade.						
Nível	Tarefa	LNO	LNA	Capacidade de Fabrico		
				Polímero	Compósito	Metal
I	ManUn	2	2	3		
II	Man A/D	3	1	4		
	Man A/G	2		2		
III	ManDep	1	1	2		

Quadro 6 - Resultados relativos à pergunta 2

Preencha o seguinte quadro de acordo com as capacidades futuras de FA em cada tipo de unidade.						
Nível	Tarefa	LNO	LNA	Capacidade de Fabrico		
				Polímero	Compósito	Metal
I	ManUn	5	2	4	1	
II	Man A/D	5	4	5	3	3
	Man A/G	4	3	3	4	2
III	ManDep	3	2	2	2	3

Relativamente às capacidades atuais de FA no EP foi unânime que, neste momento, apenas é possível o fabrico de sobressalentes com base em polímeros, ou seja, sobressalentes plásticos. 86% dos entrevistados indicaram que o FA atual manifesta-se através do nível 2 de manutenção com capacidade de fabrico em polímero. No que concerne às capacidades futuras de FA que maximizava o rendimento da manutenção no EP é possível concluir que 71% dos entrevistados acha viável a execução em tarefa de ManUn e Man A/D em LNO. Além disso, uma taxa de 71%, concorda que a Man A/D deve ter capacidade de fabrico, no mínimo, em polímero. É relevante referir que, a maioria dos entrevistados refere que a capacidade de fabrico futuro a nível de compósitos e metais dever pertencer ao nível 2 e 3 de manutenção. Por fim, é importante referir que nenhum entrevistado acha viável ter a capacidade de fabrico em metal no nível 1 de manutenção. No próximo Quadro 7 estão apresentadas as respostas dos entrevistados relativas a parcerias existentes com o EP e entidades civis ou empresas de FA.

Quadro 7 - Resultados relativos à pergunta 5

A implementação ou manutenção dos equipamentos foram feitos em parceria com uma empresa ou entidade civil especializada em FA? Qual ou que tipo de instituição?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
B.5.1 - CINAMIL	X	X	X					43%
B.5.2 - IST	X	X						29%
B.5.3 - UAGME		X	X					29%
B.5.4 - Outros			X	X	X	X	X	71%

As respostas a esta pergunta traduzem-se da parceria do EP com o Instituto Superior Técnico (IST), o Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL), a Unidade de Apoio Geral de Material do Exército (UAGME) e o Regimento de Manutenção (RMan). De acrescentar que não existe nenhuma parceria com uma indústria, no entanto tem existido contacto com duas empresas de FA, uma de polímeros e outra de metais. De referir que 57% dos entrevistados não conheciam quaisquer parcerias. O Quadro 8 apresenta os resultados da pergunta 6, com o objetivo de verificar que sobressalentes podem ser produzidos através do FA e os tipos de materiais utilizados.

Quadro 8 - Resultados relativos à pergunta 6

Que tipo de sobressalentes (6.2) são produzidos através do FA e que materiais (6.1) são utilizados para tal?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
B.6.1.1 - Polímero	X	X	X	X	X	X	X	100%
B.6.1.2 - Compósito	X							14%
B.6.1.3 - Metal	X	X						29%
B.6.2.1 - Sobressalentes de armamento		X	X	X	X	X	X	86%
B.6.2.2 - Sobressalentes de viaturas		X	X	X				43%
B.6.2.3 - Sobressalentes de equipamento individual		X	X	X			X	57%
B.6.3 - Outros				X				14%

Os destaques desta pergunta conferem que, neste momento, o EP utiliza polímero como material de FA (100%). Os sobressalentes que são predominantemente produzidos são sobressalentes para armamento (86%), seguido de sobressalentes para equipamento individual (57%) e viaturas (43%).

3.3.3 Benefícios e Limitações

Este subcapítulo apresenta as respostas às perguntas de entrevista que vão de encontro com a PD3, na identificação dos benefícios, limitações, potencialidades, desafios, bem como a sustentabilidade deste tipo de fabrico e as consequências ambientais, económicas e sociais. No Quadro 9 está apresentado a sustentabilidade do FA e as vantagens a nível económico, ambiental e social.

Quadro 9 - Resultados relativos à pergunta 7

Considera a implementação do FA sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes produzidos (7.1)? Porquê (7.2)?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
C.7.1 - Sustentável	X	X	X	X	X	X	X	100%
C.7.2.1 - Vantagens Económicas				X				14%

C.7.2.2 - Vantagens Ambientais		X						14%
C.7.2.3 - Vantagens Sociais	X		X	X				43%
C.7.2.4 - Outros					X		X	29%

Todos os entrevistados consideram o FA sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes (100%), no entanto é importante de referir que dois dos entrevistados (29%) manifestaram preocupação face ao ciclo de vida dos sobressalentes feitos a partir de FA que esforços mecânicos significativos visto que esses testes ainda não foram realizados. A nível de vantagens associadas à sustentabilidade do FA é de registar que 43% dos entrevistados referem vantagens sociais, nomeadamente, o fabrico de sobressalentes no local, diminuindo assim o tempo de entrega dos respetivos sobressalentes, bem como o melhoramento de alguns sobressalentes comparativamente com os sobressalentes originais e a flexibilidade associada a este tipo de fabrico. Outras vantagens económicas (14%) e ambientais (14%) foram referidas como o fabrico de sobressalentes que pertencem a conjuntos de sobressalentes e não se vendem separadamente e a diminuição da pegada logística, respetivamente. Posteriormente segue-se o Quadro 10 que apresenta os benefícios, as limitações e as aplicações do FA.

Quadro 10 - Resultados relativos à pergunta 8

Quais os maiores benefícios (8.1), limitações (8.2) e aplicações (8.3) do FA nas FFAA?								
Resposta	Entrevistado							%
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	
C.8.1.1 - Fabrico em locais remotos/isolados	X	X						29%
C.8.1.2 - Disponibilidade	X	X	X	X				57%
C.8.1.3 - Flexibilidade	X	X	X	X	X		X	86%
C.8.1.4 - Independência de fornecimento externo		X		X				29%
C.8.1.5 - Facilidade e Eficiência na Manutenção		X		X	X			43%
C.8.1.6 - Evita atrasos logísticos		X					X	29%
C.8.1.7 - Redução do <i>stock</i> de	X	X		X				43%

sobressalentes								
C.8.1.8 - Personalização ou melhoramento de sobressalentes			X		X	X		43%
C.8.1.9 - Fabrico de sobressalentes obsoletos			X		X	X		43%
C.8.2.1 - Tecnologia pouco madura	X				X			29%
C.8.2.2 - Custos Elevados		X	X				X	43%
C.8.2.3 - Recursos humanos qualificados		X	X		X	X	X	71%
C.8.2.4 - Certificação de sobressalentes					X	X		29%
C.8.3.1 - FND								0%
C.8.3.2 - Todas as Unidades		X						14%
C.8.3.3 - Fabrico Centralizado		X	X					29%
C.8.3.4 - Fabrico Descentralizado				X				14%
C.8.4 - Outros	X	X	X	X	X	X		86%

Os maiores benefícios que foram enumerados pelos entrevistados relativamente ao emprego do FA nas FFAA foram a flexibilidade (86%) e a disponibilidade (57%). Outra vantagem relevante especificada foi a facilidade e eficiência na manutenção (43%). A maior limitação referida pelos entrevistados foi a necessidade de recursos humanos qualificados para operar nos equipamentos (71%). Outras limitações como os custos elevados na aquisição dos equipamentos e o FA ser uma tecnologia ainda pouco madura foram outras das limitações indicadas. Finalmente, no que toca à aplicabilidade desta tecnologia além do fabrico de sobressalentes no apoio à manutenção foi manifestado por 29% dos entrevistados a necessidade de o controlo do equipamento estar concentrado apenas num lugar, de modo a rentabilizar o investimento e concentrar o conhecimento dos militares e minimizar o empenhamento dos meios humanos e materiais.

CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Tecnologias de Fabrico Aditivo

No que concerne às tecnologias atuais associadas ao FA pode afirmar-se que, segundo a norma ISO/ASTM 52900, existem sete tecnologias, nomeadamente, BJT, DED, MEX, MJ, PBF, SHL e VPP. Descritas as tecnologias existentes, de acordo com a revisão da literatura e o Apêndice B, a DED, a MEX e a PBF são as principais tendências tecnológicas de FA que estão a ser colocadas em prática por parte das FFAA na maioria dos países como indicado pelos resultados da amostra dos dez países analisados (Apêndice D). As entrevistas revelaram que o EP utiliza as tecnologias MEX e VPP (SLA) como fontes principais do FA, como é redigido por Avelar (2022).

A complexidade do processo de FA está diretamente relacionada com os custos e o tempo de produção. Os resultados qualitativos demonstraram que 86% dos entrevistados referem que o FA tem custos mais reduzidos que o FT, excetuando o investimento inicial dos equipamentos, tal como confirmado por Westerweel et al. (2018), citado em Boer (2020). No entanto, 57% dos entrevistados confirmaram que o FA é mais lento que o FT, como refere Cunningham et al. (2015). No entanto, esta limitação pode ser mitigada com a redução do tempo de espera do fornecedor, bem como a redução dos custos logísticos associados, se tivermos uma impressora no local (Gaska & Clement, 2016).

As entrevistas revelaram que o investimento inicial nos equipamentos é progressivamente mais elevado consoante o material utilizado. Este custo aumenta nos equipamentos de FA com polímeros, compósitos e metais, por esta ordem. Denote-se ainda que, em equipamentos com tecnologia MEX, os custos de operação e de manutenção são relativamente reduzidos. No entanto, os custos de operação e manutenção aumentam significativamente se os equipamentos forem de fabrico de compósitos e metais (Cerdas et al., 2017). Com os últimos três parágrafos pode-se considerar como discutida e respondida a PD1.

4.2 Aplicações em Ambiente Operacional

Relativamente à PD2, o FA tem inúmeras aplicações em ambiente operacional e a OTAN e a EDA, desde cedo, manifestaram interesse na colaboração com os Estados Membros e com a Indústria de Defesa para avaliar o impacto do FA nas FFAA, iniciando vários projetos e investigações (Rautio & Valtonen, 2022). De referir que todos os países estudados têm as suas FFAA envolvidas em parcerias com empresas civis especializadas em

FA que ajudam não só na produção, mas também na formação e no treino dos militares que operam com os equipamentos. Em território nacional o EP está neste momento a investigar uma possível implementação do FA nas suas fileiras através do projeto ALSAM. Neste projeto estão presentes investigadores do RMan, do CINAMIL, do IST e da UAGME (Gomes, 2023). Esta parceria foi confirmada com a realização das entrevistas nas quais os entrevistados enumeraram as entidades referidas anteriormente. A análise documental e as entrevistas confirmaram que Portugal não tem parcerias com nenhuma empresa civil ou indústria especializada em FA, mas é de assinalar que o Ten Mat Machado na entrevista referiu que o EP está em contacto com duas empresas de FA, existindo interesse de ambos os lados.

De acordo com os resultados obtidos em contexto internacional, concluímos que os países que se encontram mais avançados na integração do FA na cadeia logística militar, como é o caso da Alemanha, França, EUA e a Austrália, têm equipamentos de pequenas dimensões e mais simples, ou seja, equipamentos com capacidade de fabrico de polímeros, nos níveis mais baixos da manutenção, que podem ser operados remotamente. No entanto, não existem evidências da utilização do FA em apoio a forças isoladas nas operações (Washington, D. C., 2021). Conforme o nível de manutenção aumenta, o nível de complexidade e exigência técnica aumenta, necessitando assim de mais meios. Estes meios podem ser facultados pelos níveis mais elevados da manutenção que permitem a integração de capacidades de fabrico mais complexas como é o caso de compósitos e metais (Daugherty & Heiple, 2017). A doutrina nacional também permite a utilização do FA em complemento às restantes tecnologias de fabrico com o Fabrico Local, como mencionado no PDE 4-00. Vários dos países estudados contam ainda com um Módulo ou uma Equipa de Manutenção especializada em FA que acompanha as tropas para os TO e é responsável pela produção e funcionamento dos equipamentos de FA. Indo de encontro com a informação mencionada anteriormente, podemos deduzir a partir das entrevistas que Portugal, neste momento, tem capacidade de FA apenas em polímero, transversal a todos os níveis de Man em LNO. Quando questionados acerca do futuro do FA e a sua implementação no EP, os entrevistados acharam viável ter a capacidade de fabrico menos complexa nos níveis mais baixos da Man e à medida que o nível de manutenção aumenta, a capacidade de fabrico aumentará e trará consigo a integração do FA de compósitos e metais, à semelhança das estratégias implementadas pelos países estudados. Estas deduções das entrevistas podem ser confirmadas com a análise documental, evidenciadas por Cavaleiro (2023).

De salientar que em contexto internacional, os países analisados, já conseguiram produzir vários sobressalentes com recurso ao FA, quer com polímeros quer com metais. Consequentemente, é de grande pertinência mencionar os casos mais prestigiados apresentados nos resultados. Os Países Baixos produzem no setor da Marinha inúmeros sobressalentes em polímero por dia a bordo dos seus navios, com recurso à tecnologia MEX. No setor do Exército já foram produzidos sobressalentes poliméricos e metálicos, que se encontravam obsoletas, para os veículos *Fennek* no Mali. O Exército Francês também já produziu sobressalentes em território francês, bem como no Mali, Níger e Líbano. A Alemanha também já produziu vários sobressalentes com realce para a produção de sobressalentes poliméricos no Afeganistão. A Austrália conseguiu produzir, em ambiente operacional, sobressalentes de grandes dimensões para o M113 com polímeros, compósitos e metais. Israel consegue fabricar drones em ambiente operacional tendo por base o FA. A nível nacional, Portugal já produziu “adaptadores de cabos elétricos para a viatura blindada de rodas PANDUR II 8x8, sobressalentes de fixação dos óculos de visão noturna AN/PVS-14 ao capacete e diversos encaixes para a espingarda automática FN SCAR” (Avelar, 2022), baseados em polímeros. Além dos sobressalentes referidos por Avelar (2022), foram descritas outras que também foram produzidas em ambiente operacional, com base em polímeros, na Roménia e na República Centro-Africana. Exemplos desses sobressalentes são pegadas para o módulo *Radar Warning System* (RWS) da Viatura Blindada de Rodas (VBR) Pandur II, difusores *Air-Conditioning* (AC) da HUMVEE, caixas de proteção para os estabilizadores de bateria da VBR Pandur II, fixadores dos contra-peso dos capacetes, tampas para o punho da FN SCAR, sobressalentes para VAMTAC, olhais do fiador da Glock, sobressalentes para bandoleiras e suportes para injetor *Land Rover Defender*. De salientar que, segundo o Ten Mat Machado, o EP já conseguiu imprimir um sobressalente do sistema de escape do Carro de Combate (CC) Leopard 2A6. Deste modo conseguiu-se responder à PD2.

4.3 Benefícios e Limitações

Todos os entrevistados consideraram que o FA é sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes, tal como referem Taddese (2020) e Ford & Despeisse (2016). De entre as vantagens associadas à sustentabilidade do FA destaca-se que 43% dos entrevistados referem vantagens sociais, nomeadamente, o fabrico de sobressalentes no local, diminuindo assim o tempo de entrega dos respetivos sobressalentes, bem como o melhoramento de alguns sobressalentes comparativamente com os sobressalentes originais e a flexibilidade associada

a este tipo de fabrico, confirmado por Chen (2015), citado em Ford & Despeisse (2016). Outros entrevistados referiram vantagens económicas como o fabrico de sobressalentes que pertencem a conjuntos de sobressalentes e não se vendem separadamente. E ainda, foi referido nas entrevistas vantagens ambientais, principalmente, a diminuição da pegada logística, como constatou Liu (2018), citado em Výtisk et al. (2020).

Com o objetivo de analisar os benefícios e limitações, bem como as oportunidades e as vulnerabilidades da implementação do FA no EP, procurou-se formalizar uma análise SWOT. O Quadro 11 representa a análise SWOT que teve por base o Anexo A, bem como toda a informação recolhida ao longo da investigação.

Quadro 11 - Análise SWOT

Implementação do FA no EP		
	Positivo	Negativo
	Benefícios	Limitações
Interno	<ul style="list-style-type: none"> - Adoção da produção <i>Just-in-Time</i>; - Aumento da facilidade e eficiência da manutenção; - Aumento das opções de fabrico e de abastecimento; - Digitalização de sobressalentes; - Fabrico de protótipos funcionais; - Partilha de propriedade intelectual; - Personalização de sobressalentes; - Produção mais localizada; - Redução dos custos operacionais; 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo do investimento inicial; - Dimensões dos sobressalentes; - Escalabilidade da produção; - Produções em massa; - Resistência dos sobressalentes;
Externo	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da disponibilidade; - Aumento da flexibilidade logística; - Aumento de capacidade de produção de sobressalentes no local, incluindo sobressalentes obsoletos; - Diminuição de <i>stocks</i> e dos riscos associados à inoperacionalidade dos 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de certificações de qualidade, desempenho e segurança; - Falta de experiência; - Recursos humanos qualificados; - Restrições económicas; - Constrangimentos legais para a

	equipamentos; - Fabrico em locais remotos ou isolados; - Independência de fornecedores externos; - Melhoramento de sobressalentes; - Otimização logística;	propriedade intelectual;
--	--	--------------------------

De forma a atenuar algumas limitações e desafios presentes na análise SWOT, segue-se algumas medidas a considerar. A oficialização de uma parceria com uma empresa ou indústria especializada em FA poderia mitigar a falta de recursos humanos qualificados, a falta de experiência e a escalabilidade da produção. Posteriormente, a implementação de um programa específico de formação que dá a valência e autoridade técnica para a certificação dos sobressalentes aos operadores dos equipamentos de FA, anulará os riscos de qualidade, desempenho e segurança dos respetivos sobressalentes, como descreve Fleury (2020), bem como constrangimentos legais da propriedade intelectual. As restrições económicas podem ser mitigadas com parcerias com empresas especializadas em FA e a integração de Portugal em mais projetos europeus e internacionais de FA, que pode suscitar investimentos financeiros mais reduzidos, como por exemplo a Austrália fez com a empresa *SPEED3D™* (Wright & Roberts, 2020).

Recorrendo a toda a investigação podemos relacionar os dados adquiridos com os principais indicadores da Manutenção, de acordo com o PDE 4-00, nomeadamente, a Disponibilidade, Manutibilidade e a Fiabilidade. A Disponibilidade está relacionada com o tempo que os equipamentos se mantêm operacionais e, de acordo com as entrevistas podemos constatar que o FA consegue produzir sobressalentes funcionais. Além disso, esta tecnologia permite o melhoramento dos sobressalentes originais (Boer et al., 2020), aumentando assim a sua disponibilidade para o serviço. A Manutibilidade prende-se com a rapidez dos equipamentos inoperacionais voltarem a ficar operacionais e, recorrendo às entrevistas e à análise SWOT, podemos confirmar que a implementação da tecnologia de FA aumenta a disponibilidade, pois a fonte de produção estará no local, aumentando a capacidade de fabrico e diminuindo o tempo de espera (Seah et al., 2016), que consequentemente aumentará a Manutibilidade. A Fiabilidade está relacionada com o tempo em que o sistema de manutenção consegue antecipar avarias inopinadas e como o FA aumenta os outros dois indicadores, o tempo para detetar avarias pode ser mais reduzido,

pois a avaria será resolvida de forma mais rápida e eficaz. Após a análise SWOT e a discussão subsequente considera-se respondida a PD3.

4.4 Implementação do FA no Exército Português

Através da revisão de literatura, da análise documental dos países analisados, bem como a pesquisa documental a nível nacional, complementada pelas entrevistas conseguiu-se comparar e discutir os resultados obtidos. Indo de encontro com o objetivo desta dissertação, pretende-se conjugar os subcapítulos anteriores e responder amplamente à PP. A implementação do FA no EP trará várias implicações relativas à gestão dos meios disponíveis e à tomada de decisão dos comandantes. Deste modo, é crucial referir que esta implementação trará consigo implicações positivas ao EP, mas também desafios a serem superados. Além disso, o FA é uma tecnologia que está a ser adotada não só por aliados, mas também por inimigos. Como consequência deve-se entender as principais inferências desta implementação na cadeia logística militar.

O FA aplicado a nível militar tem benefícios intrínsecos, como a produção *just-in-time*, o aumento da facilidade e eficiência da manutenção, o aumento das opções de fabrico e de abastecimento, a digitalização de sobressalentes, a possibilidade de fabricar protótipos funcionais, a partilha de propriedade intelectual, a personalização e melhoramento de sobressalentes e a capacidade de aplicar o FA em locais remotos. Estes aspetos positivos terão consequências positivas que aumentarão o leque de oportunidades do EP. Estas oportunidades passam pelo aumento da disponibilidade e flexibilidade logística, o aumento da capacidade de produção de sobressalentes em qualquer local, incluindo sobressalentes obsoletos e redução do *stock*. A conjugação destas oportunidades culminará na otimização logística do EP e reduzirá os custos operacionais.

Por outro lado, o FA contém um aspeto que será o mais restritivo na sua implementação na cadeia logística militar, nomeadamente, o elevado custo do investimento inicial em equipamentos e infraestruturas apropriadas para este tipo de fabrico. Este custo aumenta exponencialmente em polímeros, compósitos e metais, por esta ordem. A escalabilidade da produção e a resistência dos sobressalentes apresentam-se como constrangimentos associados ao FA. Na implementação desta tecnologia no EP surgiriam desafios como a falta de certificações de qualidade, desempenho e segurança, bem como a necessidade de recursos humanos qualificados. A falta de experiência resultante do FA ser uma tecnologia emergente, disruptiva e recente é uma condicionante, assim como constrangimentos legais existentes relativamente à propriedade intelectual.

A sustentabilidade do FA afetará o EP significativamente, quer a nível ambiental, económico ou social. A redução da pegada logística, do consumo de eletricidade e da emissão dos gases de efeito estufa são exemplos de benefícios ambientais associados à sua implementação. A redução dos custos operacionais em território nacional e em TO são muito significativos e afetarão financeiramente o EP. A possibilidade de produção em locais remotos apresenta-se como um aspeto muito positivo a nível social, reduzindo os atrasos logísticos e o tempo de espera.

A implementação do FA está prevista na doutrina nacional, no caso da atividade complementar da Manutenção, denominada Fabrico Local. Além disso, esta implementação resultaria no aumento significativo dos indicadores da Manutenção mencionados doutrinariamente, melhorando a disponibilidade operacional e o tempo de resposta às necessidades de sobressalentes, diminuindo o custo unitário dos mesmos.

A implementação do FA é uma tendência tecnológica disruptiva que está a emergir exponencialmente nas FFAA nos países a nível internacional. As tecnologias mais utilizadas nas FFAA são a MEX, a PBF e a DED. A implementação no EP terá de acontecer de forma gradual. Atualmente está implementado a capacidade de fabrico com base em polímeros, utilizando a tecnologia MEX. Em países militarmente mais evoluídos já está implementado o FA com base em compósitos e metais nos elevados escalões da logística. De destacar que uma das mais valias do FA é o seu emprego operacional. Existem vários exemplos de países que mostram a produção de sobressalentes poliméricos e metálicos em ambiente operacional. O EP também já obteve sucesso na produção de sobressalentes específicos fora do território nacional. No entanto, a pesquisa contínua e o desenvolvimento das tecnologias de FA devem ser incentivados.

De modo a implementar o FA na cadeia logística do EP, a aquisição de equipamentos projetáveis será necessária, de forma a dar resposta às necessidades das forças presentes quer em locais remotos, quer no Apoio Militar de Emergência ou em FND. Outra medida de implementação será equipar a UAGME com capacidade de fabrico, focando no nível 3 de manutenção. A criação de um gabinete de projeto, onde será desenvolvido projetos de novos sobressalentes, aumentando a propriedade intelectual. O EP terá de ter a capacidade de ensaio de sobressalentes, de modo a testar a qualidade, desempenho e segurança dos mesmos. Um dos caminhos a seguir será não só a colaboração com projetos internacionais e a parceria com empresas especializadas em FA, mas também a colaboração entre as FFAA e de Segurança com o objetivo de partilhar conhecimento e, possivelmente, equipamentos. Será necessário então proceder a uma reavaliação dos procedimentos logísticos.

CONCLUSÃO

O objetivo desta investigação foi a “avaliação das implicações do FA no EP, aplicado em ambiente operacional às unidades escalão Companhia e Batalhão”. Para tal, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica tendo como objeto de estudo, sido definidos dez países reconhecidos por serem potências militares a nível mundial, a fim de perceber as tecnologias de FA utilizadas, os métodos, os processos e o emprego operacional desta tecnologia nas suas fileiras. Além destes países, foi feita uma análise documental sobre o FA no EP posteriormente confirmada com a realização de entrevistas a militares portugueses com conhecimento e envolvimento profissional na área.

Assim, no que diz respeito à PD1, **“Quais as tecnologias atuais do FA?”**, as tecnologias atuais de FA incluem BJT, DED, MEX, MJ, PBF, SHL e VPP. Entre estas sete tecnologias as que são mais utilizadas ao nível da Defesa são a DED, a MEX e a PBF. Em contexto nacional as tecnologias de FA utilizadas no EP são a MEX e a VPP (SLA).

Relativamente à PD2, **“Quais as aplicações do FA em ambiente operacional para unidades escalão Companhia e Batalhão?”**, a aplicação prioritária do FA em ambiente operacional é a produção de sobressalentes no apoio à manutenção, pois permite o fabrico rápido e no local. Estes sobressalentes são feitos a partir de polímeros, compósitos ou metais, sendo que a nível nacional apenas são produzidos sobressalentes plásticos neste momento, ou seja, a partir de polímeros. Outras aplicações prendem-se com o melhoramento e personalização de sobressalentes, produção de sobressalentes obsoletos e o fabrico de protótipos funcionais.

No que concerne à PD3, **“Quais são os principais benefícios e limitações do FA face ao seu ciclo de vida?”**, os principais benefícios são a disponibilidade e flexibilidade que o FA garante à cadeia logística do EP, bem como o aumento da facilidade e eficiência da manutenção, a redução dos custos operacionais, principalmente na diminuição dos voos de sustentação da força, a grande redução do tempo de espera dos produtos, evitando atrasos logísticos e, conseqüentemente a diminuição de *stocks* e riscos associados à inoperacionalidade dos equipamentos. Outro benefício fundamental do FA passa não só pela possibilidade de fabricar sobressalentes em locais longínquos ou isolados, mas também pela capacidade de operar o respetivo equipamento remotamente. Esta conjuntura associada levará à simplificação e otimização logística por parte do EP, bem como à sustentabilidade face ao ciclo de vida dos sobressalentes produzidos. Por outro lado, as principais limitações visam a necessidade de recursos humanos qualificados para operar nos equipamentos, os

custos elevados de investimento inicial associado à aquisição dos equipamentos, os constrangimentos legais no que toca à propriedade intelectual, bem como a falta de certificações de qualidade, desempenho e segurança. De referir ainda que o FA é ainda uma tecnologia pouco madura e que não está no máximo do seu potencial.

Após responder às três PD é então possível responder à PP, **“Quais as inferências da implementação do FA no EP?”**. A implementação do FA no EP traria várias implicações positivas e desafios a serem considerados. Os principais impactos benéficos seriam a melhoria da disponibilidade operacional dos equipamentos, a capacidade de produzir sobressalentes no local, a redução do tempo de inoperacionalidade dos equipamentos, aumentando a manutibilidade e a prontidão operacional. Outras inferências como a produção de sobressalentes personalizados, modificados ou melhorados, bem como o fabrico de sobressalentes obsoletos, aumentaria a flexibilidade e a adaptabilidade dos sobressalentes às necessidades específicas das operações militares. Em contrapartida, um dos principais desafios seria o investimento inicial necessário em equipamentos e infraestruturas adequadas para o FA. O custo inicial pode ser elevado, especialmente para a fabricação de sobressalentes a partir de materiais como compósitos e metais. Além disso, a necessidade de qualificar e treinar pessoal para operar e manter os equipamentos, a falta de certificações de qualidade, desempenho e segurança de determinados sobressalentes e os constrangimentos legais associados à propriedade intelectual.

Assim, constata-se que a implementação do FA apresenta-se como uma solução viável e sustentável para melhorar e otimizar a cadeia logística e a manutenção do EP. Com base nos resultados obtidos nesta investigação, pode-se concluir que o FA tem sido adotado por vários países como tecnologia disruptiva e emergente com potencial de transformação positiva no âmbito militar, no qual já manifestou alguns resultados, mas ainda longe de demonstrar todas as suas capacidades. Como medidas de implementação do FA no EP exortam-se as seguintes: a aquisição de equipamentos projetáveis, equipar a UAGME com capacidade de FA, a criação de um gabinete de projeto, capacidade de ensaio de peças, a criação de parcerias externas e internas e a reavaliação dos procedimentos logísticos.

Como principais contributos destacam-se a caracterização de cada tecnologia de FA e a sua aplicabilidade. A análise comparativa entre as estratégias de implementação do FA militar em diferentes países forneceu perceções diferentes sobre as melhores práticas a adotar. A extração dos sobressalentes produzidos até ao momento, em ambiente operacional, servem de referência para a implementação e o emprego do FA na cadeia logística militar.

Como limitações durante toda a investigação destaca-se o uso relativamente recente do FA militar a nível global, o que não permite perceber a longevidade dos sobressalentes produzidos.

Futuramente, recomendam-se estudos sobre materiais avançados para o FA, bem como investigações mais aprofundadas sobre a segurança cibernética relacionada com o FA, de modo a explorar potenciais vulnerabilidades e propor medidas de proteção adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D printing accelerates Ukrainian part production*. EletronicSpecifier (2022). Acedido a 02 de abril de 2023 em <https://www.electronicspecifier.com/products/3d-printing/3d-printing-accelerates-ukrainian-medical-and-defence-part-production>
- 3YOURMIND Supports the SIMMT With 60 3D Printers in France | News | 3YOURMIND*. (2021). Acedido a 22 de março de 2023 em <https://www.3yourmind.com/news/3yourmind-supports-the-simmt-in-the-implementation-of-60-3d-printers-in-france>
- 3YOURMIND. (2022). *Youth-Led NGO Responds to Ukraine Crisis With 3D Printing | News | 3YOURMIND*. Acedido a 03 de abril de 2023 em <https://www.3yourmind.com/news/youth-led-ngo-responds-to-ukraine-crisis-with-3d-printing-platform>
- Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., & Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1–27. <https://doi.org/10.1177/1687814018822880>
- Academia Militar. (2016). *Normas de Redação de Trabalhos de Investigação*. 19.
- Acero, R., Torralba, M., Pérez-Moya, R., & Pozo, J. A. (2020). Value stream analysis in military logistics: The improvement in order processing procedure. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). doi.org/10.3390/app10010106
- Additive Manufacturing | Metal Laser Melting | 3D metal printing | Laser Sintering | | toolcraft AG |*. ToolCraft (s.d.). Acedido a 24 de março de 2023 em <https://www.toolcraft.de/en/technologies/additive-manufacturing/>
- Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- Antill, P., & Smith, J. (2017). The british army in transition: From army 2020 to the strike brigades and the logistics of future operations. *RUSI Journal*, 162(3), 50–58. <https://doi.org/10.1080/03071847.2017.1353249>
- ASM. (2020). Additive Manufacturing Processes. In *ASM Handbook* (Vol. 24).

- Atzberger, A., Montero, J., Company, T. B., Schmidt, T. S., & Bleckmann, M. (2018). *Characteristics of a metal additive manufacturing process for the production of spare parts*. *Characteristics of a metal additive manufacturing process for the production of spare parts*. September.
- Australian Army Extends SPEE3D Metal 3D Printing Partnership. SPEE3D (2021).
Acedido a 29 de março de 2023 em <https://www.spee3d.com/australian-army-extends-spee3d-metal-3d-printing-partnership/>
- Australian Army push engineering boundaries with their latest metal 3D printing field trial / Defence. Defence (2020). Acedido a 29 de março de 2023 em <https://www.defence.gov.au/news-events/releases/2020-08-18/australian-army-push-engineering-boundaries-their-latest-metal-3d-printing-field-trial>
- Australian Military 3D Prints Over a Dozen Armoured Vehicle Parts in the Field - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. 3D Print (2021).
Acedido a 29 de março de 2023 em <https://3dprint.com/286608/australian-military-3d-prints-over-a-dozen-armoured-vehicle-parts-in-the-field/>
- Avelar, O. (2022). MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA LOGÍSTICO DO EXÉRCITO E O IMPACTO DAS NOVAS TENDÊNCIAS EMERGENTES. *IUM*.
- Babcock produces first 3D metal parts for UK's armoured fleets. ArmyTechnology (2023).
Acedido a 30 de março de 2023 em <https://www.army-technology.com/news/babcock-produces-first-3d-metal-parts-for-uks-armoured-fleets/>
- Balistreri, G. (2015). *Potential of Additive Manufacturing in the After-Sales Service Supply Chains of Ground Based Military Systems*. July 2015.
- Benedict. (2016). *3ders.org - Israel Defense Forces using 3D printing to restore 30-year-old Air Force planes* / *3D Printer News & 3D Printing News*. Acedido a 02 de abril de 2023 em <https://www.3ders.org/articles/20160420-israel-defense-forces-using-3d-printing-to-restore-30-year-old-air-force-planes.html>
- Bertaglia, P. R. (2013). *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. https://books.google.com.br/books/about/Logística_e_gerenciamento_da_cadeia_de.html?hl=pt-BR&id=54VgAAAACAAJ&pgis=1
- Boer, J. den, Lambrechts, W., & Krikke, H. (2020). Additive manufacturing in military and humanitarian missions: Advantages and challenges in the spare parts supply chain.

Journal of Cleaner Production, 257, 120301.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120301>

British Army applies Lulzbot 3D printers to peacekeeping in South Sudan - 3D Printing Industry. (s.d.). Acedido a 30 de março de 2023 em <https://3dprintingindustry.com/news/british-army-applies-lulzbot-3d-printers-to-peacekeeping-in-south-sudan-145492/>

Busachi, A., Kuepper, D., Brunelli, J., Heising, W., Moeller, C., Fisher, D., Watts, C., Drake, R., International, B., & House, A. (2019). Modelling Applications of Additive Manufacturing in Defence Support Services: Introducing the AM-Decision Support System. 1–23.

BSI 13306. (2017). BSI Standards Publication Maintenance Maintenance. Maintenance terminology. BS EN 13306:2017. *British Standard Institution, London, UK*.
<https://bsol.bsigroup.com/Bibliographic/BibliographicInfoData/000000000030324472%0Ahttps://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030324472>

Cardeal, G., Sequeira, D., Mendonça, J., Leite, M., & Ribeiro, I. (2021). Additive manufacturing in the process industry: A process-based cost model to study life cycle cost and the viability of additive manufacturing spare parts. *Procedia CIRP*, 98, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.032>

Cavaleiro, P. (2023). Jornadas de Infantaria 2022. *Infantaria*. 7, 49-57

Cerdas, F., Juraschek, M., Thiede, S., & Herrmann, C. (2017). Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System. *Journal of Industrial Ecology*, 21, S80–S93. <https://doi.org/10.1111/jiec.12618>

Chandavarkar, A. (2018). *METAL 3D PRINTED ENGINE PARTS FLOWN ON FINNISH AIR FORCE F/A-18 SUPER HORNET - AM Chronicle*. Acedido a 27 de março de 2023 em <https://www.amchronicle.com/news/metal-3d-printed-engine-parts-flown-finnish-air-force-fa-18-super-hornet/>

Claire, S. (2022). *RAF Squadron Opens AM Center For Innovation - 3Dnatives*. Acedido a 30 de março de 2023 em <https://www.3dnatives.com/en/raf-additive-manufacturing-251020225/#!>

Commonwealth Digital. (s.d.). The Evolution Of 3D Printing – Commonwealth Digital. Commonwealth Digital Office Solutions – Printer and Copier Sales in Virginia,

- Maryland, and D.C. Acedido a 2 de abril de 2023 em <https://commonwealthdigital.com/the-evolution-of-3d-printing>
- Cunningham, V., Schrader, C., & Young, J. (2015). Naval postgraduate. *Security, June*, 1–55. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1046101.pdf>
- Daugherty, Z. E., & Heiple, A. J. (2017). Naval postgraduate. *Security, June*, 1–55. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1046101.pdf>
- De Jonge, B., & Scarf, P. A. (2020). A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*, 285(3), 805–824. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.047>
- Defence IQ. (2016). *Additive Manufacturing in Aerospace, Defence & Space - Trends and Analysis 2016*.
- Diegel, O., Nordin, A., & Motte, D. (2019). *A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8281-9_2
- Doudnikoff, L. M. (2021). *Trade-offs of Additive Manufacturing in an Isolated Military Sustainment Network*.
- EDA (2018). *EDA project: 3D-printing in defence - YouTube*. Acedido a 06 de maio de 2023 em <https://www.youtube.com/watch?v=2IyYjFXU-xE>
- EDA (2021, outubro 19). *O impacto do FA na logística militar ainda não foi totalmente adotado na conferência*. Acedido a 06 de fevereiro de 2023 em <https://eda.europa.eu/news-and-events/news/2021/10/19/additive-manufacturing-s-impact-on-military-logistics-yet-to-be-fully-embraced-conference-hears>
- EDA (s.d.). *Additive Manufacturing Feasibility Study & Technology Demonstration-The “AMFaD” project AM DEPLOYMENT: A Robust, Self-Contained, Autonomous and Connected Facility*.
- Estado-Maior do Exército [EME] (2012). PDE 3-00 - Operações. Lisboa: EME
- Etteplan, A., Hämeenaho, T., Tölander, H., Nordenberg, E., Komi, E., Rytönen, I., & Karjalainen, J. (2019). *ADDITIVE MANUFACTURING CENTER OF EXCELLENCE IN FINLAND*.
- Exército Português. (2013). *Ministério da defesa nacional: PDE 4-00 Logística*. 118.

- Exército Português. (2014). *Publicação Doutrinária do Exército: PDE 4-46-00 Sistema Logístico do Exército*. Lisboa.
- Feldman, A. (2022). *Putting 3D Printers To Work In Ukraine's War Zone*. Acedido a 02 de abril de 2023 em <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2022/03/31/putting-3d-printers-to-work-in-ukraines-war-zone/?sh=516b246e5015>
- Feliciano, E. (2019). O Futuro da Logística no Exército Português: Departamento de Estudos Pós-Graduados o Futuro da Logística no Exército.
- Ficzere, P. (2022). Additive Manufacturing in the Military and Defence Industry. *Design of Machines and Structures*, 12(2), 80–85. <https://doi.org/10.32972/dms.2022.016>
- Fina, F., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2018). Powder bed fusion: The working process, current applications and opportunities. *AAPS Advances in the Pharmaceutical Sciences Series*, 31, 81–105. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90755-0_5
- Fleury, L. S. (2020). *Lieutenant-Commander Sebastien Fleury JCSP 46 Solo Flight PCEMI 46 Solo Flight*.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210(September 2018), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- French Army 3D Print Spare Parts at Remote Bases - 3D Printing*. 3D Printing (2019). Acedido a 22 de março de 2023 em <https://3dprinting.com/news/french-army-3d-print-spare-parts-at-remote-bases/>
- French Army Deploys Massive Military Print Farm for Spare Parts - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing*. 3D Print (2020). Acedido a 22 de março de 2023 em <https://3dprint.com/269936/french-army-deploys-massive-military-print-farm-for-spare-parts/>
- Gao, C., Wolff, S., & Wang, S. (2021). Eco-friendly additive manufacturing of metals: Energy efficiency and life cycle analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 60(July), 459–472. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.011>

- Gaska, M., & Clement, T. (2016). Additive Manufacturing as a Sustainment Enabler. *Defense AT&L, December*, 26–30.
- German army uses 3D printers to produce spare parts in operations | weapons defence industry military technology UK | analysis focus army defence military industry army.* ArmyRecognition (2018). Acedido a 24 de março de 2023 em https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/3d_printers_at_the_rescue_in_operations.html
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). Industrial Drivers for AM Adoption. In *Additive Manufacturing Technologies*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_21
- Gomes, V. (2023). A Capacidade de Produção Aditiva (Impressão em 3D), impacto nas Unidades de Infantaria. *Infantaria*. 7, 36-38
- Goulding, C. (2022). *Finland: Fortifying and 3D Printing « Fabbaloo*. Acedido a 26 de março de 2023 em <https://www.fabbaloo.com/news/finland-fortifying-and-3d-printing>
- Gülcan, O., Günaydın, K., & Tamer, A. (2021). The state of the art of material jetting—a critical review. *Polymers*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/polym13162829>
- Harper, J. (2022). ‘Tech Against Tanks’ initiative sees Polish firms build a 3D front in Ukraine – *The First News*. Acedido a 03 de abril de 2023 em <https://www.thefirstnews.com/article/tech-against-tanks-initiative-sees-polish-firms-build-a-3d-front-in-ukraine-29505>
- ISO/TC 207/SC 1 (2015). ISO 14001:2015. Acedido a 28 de fevereiro de 2023 em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en>
- ISO/TC 207/SC 5 (2006). ISO 14040:2006. Acedido a 02 de março de 2023 em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- ISO/TC 261, & ASTM COMMITTEE F42. (2021). ISO/ASTM 52900:2021. Acedido a 13 de fevereiro de 2023 em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en>
- ISO/TC 59/ SC 14 Design life (2017). ISO 15686:2017. Acedido a 02 de março de 2023 em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-5:ed-2:v1:en>
- Jiang, Q., Liu, Z., Li, T., Cong, W., & Zhang, H. C. (2019). Emergy-based life-cycle assessment (Em-LCA) for sustainability assessment: a case study of laser additive

manufacturing versus CNC machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), 4109–4120. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03486-8>

Joyce, J., Louis, M. J., & Seymour, T. (2014). 3D opportunity in the Department of Defense. *Deloitte University Press*. <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-defense-3d-printing/>

Kafara, M., Süchting, M., Kemnitzer, J., Westermann, H. H., & Steinhilper, R. (2017). Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Additive Manufacturing in Mold Core Making for CFRP Production. *Procedia Manufacturing*, 8(October 2016), 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.028>

Kamara, S., & Faggiani, K. S. (2021). *Fundamentals of Additive Manufacturing for the Practitioner*.

Lappin, Y. (2020). *Israel's first 3D-printed UAV takes to the skies*. Acedido a 02 de abril de 2023 em <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/israels-first-3d-printed-uav-takes-to-the-skies>

Minetola, P., Calignano, F., & Galati, M. (2020). Comparing geometric tolerance capabilities of additive manufacturing systems for polymers. *Additive Manufacturing*, 32(January), 101103. doi.org/10.1016/j.addma.2020.101103

Miranda, C. D. A. (2020). Automação de máquina de FA de metais. 127.

Mostafaei, A., Elliott, A. M., Barnes, J. E., Li, F., Tan, W., Cramer, C. L., Nandwana, P., & Chmielus, M. (2021). Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science*, 119(June 2020), 100707. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100707>

Naghshineh, B., Lourenço, F., Godina, R., Jacinto, C., & Carvalho, H. (2020). A social life cycle assessment framework for additive manufacturing products. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(13). <https://doi.org/10.3390/app10134459>

NATO - Additive manufacturing digital repository concept and framework - Export opportunities - [great.gov.uk](https://www.great.gov.uk). (2022). Acedido a 06 de maio de 2023 em <https://www.great.gov.uk/export-opportunities/opportunities/nato-additive-manufacturing-digital-repository-concept-and-framework>.

- Navas, M. A., Sancho, C., & Carpio, J. (2020). Disruptive Maintenance Engineering 4.0. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 37(6–7), 853–871. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2019-0304>
- Negi, S., & Sharma, R. K. (2016). Basics, applications and future of additive manufacturing technologies: A review. *Journal of Manufacturing Technology Research*, 5(January), 75–96.
- Niaki, M., Nonino, F., Palombi, G., & Torabi, S. A. (2019). Economic sustainability of additive manufacturing: Contextual factors driving its performance in rapid prototyping. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(2), 353–365. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2018-0131>
- Norris, C. B., Norris, G. A., & Aulisio, D. (2014). Efficient assessment of social hotspots in the supply chains of 100 product categories using the social hotspots database. *Sustainability (Switzerland)*, 6(10), 6973–6984. <https://doi.org/10.3390/su6106973>
- Ntousia, M., & Fudos, I. (2019). *3D Printing Technologies and Applications: An Overview*. 243–248. <https://doi.org/10.14733/cadconfp.2019.243-248>
- Pagac, M., Hajnys, J., Ma, Q., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P., & Mesicek, J. (2021). A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials. *Polymers*, 13(13), 598.
- Pinto, C. (2019). *FCTUC participa em consórcio europeu que pretende industrializar a impressão 3D de metais*. <https://www.uc.pt/fctuc/noticias/fctuc-participa-em-consorcio-europeu-que-pretende-industrializar-a-impressao-3d-de-metais/>
- Prakash, C., Singh, S., Kopperi, H., Ramakrihna, S., & Mohan, S. V. (2021). Comparative job production based life cycle assessment of conventional and additive manufacturing assisted investment casting of aluminium: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 289(xxxx), 125164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125164>
- PRODWAYS EQUIPS THE FRENCH ARMY / Prodways*. (s.d.). Acedido a 22 de março de 2023 em <https://www.prodways.com/en/2019/06/26/prodways-equips-the-french-army/>
- Prospecção tecnológica em Impressão 3D nas Forças Armadas da Holanda nos teatros de operações militares – DefesaNet*. (s.d.). Acedido a 21 de março de 2023 em <https://www.defesanet.com.br/defesa/noticia/40355/prospeccao-tecnologica-em-impressao-3d-nas-forcas-armadas-da-holanda-nos-teatros-de-operacoes-militares/>

- Rautio, S., & Valtonen, I. (2022). Supporting military maintenance and repair with additive manufacturing. *Journal of Military Studies*, *11*(1), 23–36. <https://doi.org/10.2478/jms-2022-0003>
- Reichardt, A., Shapiro, A. A., Otis, R., Dillon, R. P., Borgonia, J. P., McEnerney, B. W., Hosemann, P., & Beese, A. M. (2021). Advances in additive manufacturing of metal-based functionally graded materials. *International Materials Reviews*, *66*(1), 1–29. doi.org/10.1080/09506608.2019.1709354
- Ribeiro, I., Matos, F., Jacinto, C., Salman, H., Cardeal, G., Carvalho, H., Godina, R., & Peças, P. (2020). Framework for life cycle sustainability assessment of additive manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(3). <https://doi.org/10.3390/su12030929>
- Roca, J. B., Vaishnav, P., Fuchs, E. R. H., & Morgan, M. G. (2016). Policy needed for additive manufacturing. *Nature Materials*, *15*(8), 815–818. <https://doi.org/10.1038/nmat4658>
- Rodrigues, L. (2013). Operações militares modernas: adaptabilidade, um requisito de liderança.
- Romero, I., Martín, J. M., Marzal, M., Gallego, J., Calero, M. Á., & Martín, J. C. (2019). Additive Manufacturing (AM) - Status in Airbus Defence and Space (Spain). *8th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)*, 15. <https://doi.org/10.13009/EUCASS2019-324>
- Salminen, V. (2018). *3D-printed aircraft engine part for Hornet fighter makes maiden flight | Patria*. Acedido a 26 de março de 2023 em <https://www.patriagroup.com/newsroom/news/2018/3d-printed-aircraft-engine-part-for-hornet-fighter-makes-maiden-flight>
- Santos, F. (2018). Futuras tecnologias aplicadas à arquitetura do digital para o material. *Journal of Controlled Release*, *11*(2), 430–439.
- Santos, L., & Lima, J. (2019). Orientações Metodológicas para a Elaboração de Trabalhos de Investigação (2.a edição, revista e atualizada). *Cadernos do IUM N° 8*
- Santos, L., Monteiro, F., Lima, J., Silva, N., Silva, J., & Afonso, C. (2014). Orientações Metodológicas para a Elaboração de Trabalhos de Investigação. *Instituto de Estudos Superiores Militares*, 1–149.

- SAP (s.d.). What is industry 4.0? – SAP Insights. Acedido a 06 de fevereiro de 2023 em <https://www.sap.com/insights/what-is-industry-4-0.html>
- Seah, C., Thong, S., Choo, M. E., & Wen, W. (2016). 3D Printing – Revolutionising Military Operations. 42(2).
- State Of Israel (s.d.). *3D PRINTING THE ISRAELI INVESTMENT*. Israel's Islands Of Excellence.
- Taddese, G., Durieux, S., & Duc, E. (2020). Sustainability performance indicators for additive manufacturing: a literature review based on product life cycle studies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(7–8), 3109–3134. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05249-2>
- Triditive installs Spanish army's first hybrid additive manufacturing machine | ADDIMAT*. (2022). Acedido a 21 de março de 2023 em <https://www.addimat.es/en/news/triditive-installs-spanish-armys-first-hybrid-additive-manufacturing-machine>
- UltiMaker 3D printers: Reliable and easy to use*. UltiMaker (s.d.). Acedido a 21 de março de 2023 em <https://ultimaker.com/3d-printers>
- Verma, P. (2022). *How a global network of 3D printers is aiding Ukraine - The Washington Post*. Acedido a 03 de abril de 2023 em <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/06/12/3d-printers-ukraine-war-supplies/>
- Vicente, P. (s.d.). *Additive manufacturing in defence*. Acedido a 20 de março de 2023 em <https://eda.europa.eu/webzine/issue14/cover-story/additive-manufacturing-in-defence>
- Výtisk, J., Kočí, V., Honus, S., & Vrtek, M. (2020). Current options in the life cycle assessment of additive manufacturing products. *Open Engineering*, 9(1), 674–682. <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0073>
- Washington, D. C. (2021). *Department of Defense Additive Manufacturing Strategy*. January.
- Westerweel, B., Basten, R. J. I., & Van Houtum, G. J. (2018). Traditional or Additive Manufacturing? Assessing Component Design Options through Lifecycle Cost Analysis. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 570–585. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.015>

- Westerweel, B., Basten, R., Den Boer, J., & van Houtum, G. J. (2021). Printing Spare Parts at Remote Locations: Fulfilling the Promise of Additive Manufacturing. *Production and Operations Management*, 30(6), 1615–1632. <https://doi.org/10.1111/poms.13298>
- Wright K, Roberts J, S. C. (2020). The Future of Army Supply Chains and Distribution—A Possible Model. *Australian Army Journal*, XVI (1), 79–100.
- Wright, I. (2023). *3D Printing is the British Army's New Secret Weapon* | *Engineering.com*. Acedido a 30 de março de 2023 em <https://www.engineering.com/story/3d-printing-is-the-british-armys-new-secret-weapon>
- Zgalat-Lozynskyy, O. B. (2022). Materials and Techniques for 3D Printing in Ukraine (Overview). *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 61(7–8), 398–413. <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00327-y>
- Zhou, K. (2023). *Additive Manufacturing Technology*.
- Zhu, J., Zhou, H., Wang, C., Zhou, L., Yuan, S., & Zhang, W. (2021). A review of topology optimization for additive manufacturing: Status and challenges. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(1), 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.020>

APÊNDICES

Apêndice A - Tecnologias de FA

Quadro 12 - Tecnologias de FA

Tecnologias	Materiais
Jato de Aglutinante (BJT)	Polímero; Metal; Compósito; Não-metal; Biomaterial
Deposição Direcionada de Energia (DED)	Metal
Extrusão de Material (MEX)	Polímero; Metal; Compósito; Não-metal; Biomaterial
Jato de Material (MJ)	Polímero; Metal; Compósito; Biomaterial
Fusão em Cama de Pó (PBF)	Polímero; Metal; Compósito; Não-metal; Biomaterial
Construção por Laminados (SHL)	Metal; Compósito
Fotopolimerização de Resina (VPP)	Polímero; Não-metal; Biomaterial

Apêndice B - Vantagens, Desvantagens e Aplicações das Tecnologias de FA

Quadro 13 - Vantagens, Desvantagens e Aplicações das Tecnologias de FA

Tecnologias	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Jato de Aglutinante (BJT)	Variedade de cores; Variedade de materiais; Fabrico rápido.	Necessário pós-processamento; Propriedades mecânicas inferiores (PBF >).	Indústria médica, biomédica, química e alimentar; Aplicações em aeroespacial e eletrónica.
Deposição Direcionada de Energia (DED)	Sobressalentes densos e fortes; Altas taxas de fabrico; Ideal para reparação e manutenção; Diversos tipos de metais; Sobressalentes de grande dimensão; Desperdício de matérias-primas reduzido; Pouco pós-processamento; Facilidade na troca de material.	Custo financeiro elevado; Superfície dos sobressalentes com resolução muito baixa; Não é possível utilizar estruturas de suporte durante o fabrico.	Aplicações em aeroespacial e na Defesa.
Extrusão de Material (MEX)	Impressoras de reduzidas dimensões; Custo financeiro reduzido; Fácil operabilidade; Fabrico rápido para sobressalentes pequenos.	Fabrico lento para produção em massa; Sobressalentes suscetíveis a deformações; Materiais tóxicos.	Indústria médica e automóvel; Aplicações em aeroespacial; Prototipagem, produção em pequena escala e na Defesa.

Jato de Material (MJ)	Melhor resolução e precisão; Variedade de material; Variedade de cores; Propriedades mecânicas e térmicas homogêneas; Desperdício de matérias-primas reduzido.	Limitação de materiais; Custos financeiros elevados; Necessário estruturas de suporte; Não adequado para uso funcional.	Indústria médica; Aplicações odontológicas, acústicas, eletrônicas e em multimateriais.
Fusão em Cama de Pó (PBF)	Baixo custo de fabricação; Não são necessárias estruturas de suporte; Pó usado pode ser reciclado; Sobressalentes funcionais; Produção múltipla simultaneamente; Propriedades mecânicas equivalentes à maquinação e fundição.	Tempo de fabrico muito longo; Custo da maquinaria elevado.	Indústria automóvel, marítima, espacial e farmacêutica; Aplicações na medicina, na Defesa e na arquitetura.
Construção por Laminados (SHL)	Tempo de fabrico rápido; Consumo elétrico reduzido; Custos financeiros reduzidos; Grande área de produção; Materiais de fácil manuseamento; Não são necessárias estruturas de suporte; Possibilidade de reciclar o material.	Difícil produção de sobressalentes ocos ou com cavidades; Não é possível a produção de sobressalentes com formas complexas; Grande desperdício de material; Pós-processamento necessário e demorado; Material limitado a folhas muito finas; Ligações entre camadas deterioram-se ao longo do tempo.	Fabrico de sobressalentes de grandes dimensões.
Fotopolimerização de Resina (VPP)	Tempo de fabrico rápido; Ideal para fabrico de sobressalentes extremamente pequenos e detalhados; Sobressalentes com textura superficial lisa; Grande área de produção; Resina drenada pode ser reutilizada.	Resina é limitada e cara; Pós-processamento demorado; Sobressalentes podem partir quando expostos à luz solar por longos períodos.	Indústrias; Engenharias; Compósitos inteligentes; Robótica, Eletrónica, Objetos 3D super-hidrofóbicos; Aplicações médicas e biomédicas.

Apêndice C – Modelo de Análise

Quadro 14 - Modelo de Análise

Objetivo Geral	Avaliar as implicações do FA no EP, aplicado em ambiente operacional às unidades escalão Companhia e Batalhão				
Objetivos Específicos	Pergunta de Partida	Quais as inferências da implementação do FA no EP?			
	Perguntas Derivadas	Conceitos	Dimensões	Indicadores	Técnicas de recolha de dados
OE1 Identificar as tecnologias de FA atuais	PD1 Quais as tecnologias atuais do FA?	Tecnologias de FA	Temporal	Custos; Tempo; Tipos de Materiais; Aplicações;	Documentação e publicações doutrinárias; Entrevista semiestruturada e inquéritos por questionário.
OE2 Compreender a aplicação do FA em ambiente operacional em unidades escalão Companhia e Batalhão	PD2 Quais as aplicações do FA em ambiente operacional para unidades escalão Companhia e Batalhão?	Ambiente Operacional	Nacional	Tipo de Unidade; Complexidade do processo de fabrico; Requisitos e Prioridades de fabrico;	
Internacional	Tipo de Unidade; Complexidade do processo de fabrico; Requisitos e Prioridades de fabrico;				
OE3 Identificar os benefícios e limitações do FA face ao ciclo de vida	PD3 Quais são os principais benefícios e limitações do FA face ao seu ciclo de vida?	Implementação do FA	Ciclo de Vida	Benefícios; Limitações; Potencialidades; Ameaças; Sustentabilidade; Impacto ambiental, económico e social	

Apêndice D - Tecnologias de FA Militar em Contexto Internacional

Quadro 15 - Tecnologias de FA Militar em Contexto Internacional

Países	Tecnologias de FA
Espanha	MEX; PBF
Países Baixos	MEX; PBF
França	MEX; PBF
Alemanha	MEX; PBF
Finlândia	PBF
EUA	MEX; PBF
Austrália	MEX; PBF
Inglaterra	MEX; PBF
Ucrânia	
Israel	MEX; PBF; MJ

Apêndice E - Guião de Entrevista

Posto (Categoria)/Nome:

Função:

Data:

1. Qual(ais) a(s) tecnologia(s) de FA que está(ão) em uso nas FFAA atualmente?

2. Preencha os seguintes quadros de acordo com a capacidade de fabrico em cada tipo de unidade. O quadro **a)** enquadra-se nas capacidades atuais e o quadro **b)** nas capacidades futuras do FA (LNO – Lista de Níveis Orgânicos; LNA – Lista de Níveis de Apoio).

a)

Nível	Tarefa	LNO	LNA	Capacidade de Fabrico		
				Polímero	Compósito	Metal
I	Man. na Unidade					
II	Man A/D					
	Man A/G					
III	Man. de Depósito					

b)

Nível	Tarefa	LNO	LNA	Capacidade de Fabrico		
				Polímero	Compósito	Metal
I	Man. na Unidade					
II	Man A/D					
	Man A/G					
III	Man. de Depósito					

3. Como qualifica a complexidade do processo de FA, relativamente ao FT, tanto ao nível de tempo de produção como de custos?
4. Quais os custos associados ao FA, nomeadamente do investimento inicial, operação e manutenção (valores indicativos)?
5. A implementação ou manutenção dos equipamentos foram feitos em parceria com uma empresa ou entidade civil especializada em FA? Qual ou que tipo de instituição?
6. Que tipo de sobressalentes são produzidos através do FA e que materiais são utilizados para tal?
7. Considera a implementação do FA sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes produzidos? Porquê?
8. Quais os maiores benefícios, limitações e aplicações do FA nas FFAA?

Outros contributos que considere relevantes para o presente estudo.

Apêndice F - Enquadramento da Entrevista na Estrutura da Investigação

Quadro 16 - Enquadramento da Entrevista na Estrutura da Investigação

PP	PD	Problemática	Perguntas a explorar	Informação pretendida
Quais as inferências da implementação do FA no EP?	PD1 Quais as tecnologias atuais do FA?	A Tecnologias de FA	1. Qual(ais) a(s) tecnologia(s) de FA que está(ão) em uso nas FFAA atualmente?	A.1.1. MEX; A.1.2. PBF; A.1.3. MJ; A.1.4. Outros.
			3. Como qualifica a complexidade do processo de FA, relativamente ao FT, tanto ao nível de tempo de produção como de custos?	A.3.1. Menor tempo de fabrico; A.3.2. Menor custo de fabrico; A.3.3. Depende do volume de fabrico; A.3.4. Outros.
			4. Quais os custos associados ao FA, nomeadamente do investimento inicial (4.1), operação (4.2) e manutenção (4.3) (valores indicativos)?	A.4.1.1. Acima de 50000€; A.4.1.2. Abaixo de 50000€; A.4.2.1. Acima de 50€/kg; A.4.2.2. Abaixo de 50€/kg; A.4.3.1. Irrelevante; A.4.3.2. Depende do Operador; A.4.3.3. Outros.
	PD2 Quais as aplicações do FA em ambiente operacional para unidades escalão Companhia e Batalhão?	B Aplicações em Ambiente Operacional	2. Preencha os seguintes quadros de acordo com a capacidade de fabrico em cada tipo de unidade. O quadro a) enquadra-se nas capacidades atuais e o quadro b) nas capacidades futuras do FA (LNO – Lista de Níveis Orgânicos; LNA – Lista de Níveis de Apoio).	B.2.1. Capacidades de fabrico (material) para cada nível e tarefa de Manutenção.
			5. A implementação ou manutenção dos equipamentos foram feitos em parceria com uma empresa ou entidade civil especializada em FA? Qual	B.5.1. CINAMIL; B.5.2. IST; B.5.3. UAGME; B.5.4. Outros.

			ou que tipo de instituição?	
			6. Que tipo de sobressalentes são produzidos através do FA (6.2) e que materiais (6.1) são utilizados para tal?	B.6.1.1. Polímero; B.6.1.2. Compósito; B.6.1.3. Metal; B.6.2.1. Sobressalentes de armamento; B.6.2.2. Sobressalentes de viaturas; B.6.2.3. Sobressalentes de equipamento individual B.6.3. Outros.
			7. Considera a implementação do FA sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes produzidos (7.1)? Porquê (7.2)?	C.7.1. Sustentável; C.7.2.1. Vantagens Económicas; C.7.2.2. Vantagens Ambientais; C.7.2.3. Vantagens Sociais; C.7.2.4. Outros.
	PD3 Quais são os principais benefícios e limitações do FA face ao seu ciclo de vida?	C Benefícios e Limitações	8. Quais os maiores benefícios (8.1), limitações (8.2) e aplicações (8.3) do FA nas FFAA?	C.8.1.1. Fabrico em locais remotos/isolados; C.8.1.2. Disponibilidade; C.8.1.3. Flexibilidade; C.8.1.4. Independência de fornecimento externo; C.8.1.5. Facilidade e Eficiência na Man; C.8.1.6. Evita atrasos logísticos; C.8.1.7. Redução do <i>stock</i> de sobressalentes;

				<p>C.8.1.8. Personalização ou melhoramento de sobressalentes; C.8.1.9. Fabrico de sobressalentes obsoletos; C.8.2.1. Tecnologia pouco madura; C.8.2.2. Custos Elevados; C.8.2.3. Recursos humanos qualificados; C.8.2.4. Certificação de sobressalentes; C.8.3.1. FND; C.8.3.2. Todas as Unidades; C.8.3.3. Fabrico Centralizado; C.8.3.4. Fabrico Descentralizado. C.8.4. Outros.</p>
--	--	--	--	---

Apêndice G - Excertos das Entrevistas

Quadro 17 - Excertos das Entrevistas

Entrevistado	Excerto da Resposta	Segmento
Pergunta nº1	Qual(ais) a(s) tecnologia(s) de FA que está(ão) em uso nas FFAA atualmente?	
N1	“[...] FDM e SLA [...]”	A.1.1; A.1.4.
N2	“[...] FDM e SLA [...] Na AM o Laboratório de Engenharia Mecânica Militar possui duas máquinas FDM e a única SLA [...] O Centro de Manutenção da UAGME possui 2 máquinas FDM [...] existe 1 máquina no TO da RCA desde a 8ª FND e outra no TO da Roménia deste a 2ª FND [...]”	A.1.1; A.1.4.
N3	“[...] MEX”	A.1.1.
N4	“[...] FDM”	A.1.1.
N5	“Impressora 3D [...] que usam filamento de PLA e PetG [...]”	A.1.1.
N6	“PET-G, PLA, Carbono [...]”	A.1.1.
N7	“[...] no Exército a tecnologia usada é FDM”	A.1.1.
Pergunta nº3	Como qualifica a complexidade do processo de FA, relativamente ao FT, tanto ao nível de tempo de produção como de custos?	
N1	“Para volumes de produção reduzidos, o custo do processo de FA, é mais reduzido face a outras tecnologias, no que concerne ao tempo de produção este pode ser maior que o tempo de fabrico de outras tecnologias [...]”	A.3.2; A.3.3; A.3.4;
N2	“[...] diminuição de custos logísticos [...] tempo de produção do FA é competitivo para pequenas quantidades ou quando as peças são complexas e exigem vários <i>setups</i> para maquinar as peças.”	A.3.2; A.3.3;
N3	“[...] o custo ganha o fabrico subtrativo, no entanto a nível de tempo e formação, caso tenha impressora é muito mais rápido e mais fácil produzir na impressora [...]”	A.3.1; A.3.4.
N4	“[...] é mais barato garantidamente, por causa do reduzido desperdício de material e porque o investimento em material é muito mais baixo [...] tenho ideia de que a nível de tempos de preparação são mais curtos [...] o processo como um todo é mais rápido que o processo tradicional se não forem peças de grande dimensão [...]”	A.3.1; A.3.2; A.3.4.
N5	“[...] Não tem muita complexidade para peças simples ou peças que envolvam pouca carga [...] se o interior da peça for preenchido o fabrico por moldes é mais rápido [...] depende do que a peça tem e da sua forma [...] produção em impressoras 3D tem poucos custos associados a não ser o equipamento [...]”	A.3.2; A.3.4.

N6	“[...] em relação aos custos, podem ser bastante mais baixos, no entanto, nem sempre se tem acesso ao modelo do que se pretende produzir, havendo dependência de quem desenvolva o modelo e o teste, para que possa ser implementado”	A.3.2;
N7	“o FA trouxe soluções novas e no futuro ainda irá ser uma aposta que se revelará de grande valor no apoio à Manutenção [...] assumo que reduz a complexidade, principalmente se associada a uma digitalizadora 3D que não só aumentará a variedade de peças a produzir com também reduzirá em muito o tempo de modelação de uma peça. A nível de custos considero que irão diminuir [...]”	A.3.1; A.3.2.
Pergunta n°4	Quais os custos associados ao FA, nomeadamente do investimento inicial, operação e manutenção (valores indicativos)?	
N1	“O investimento inicial para um equipamento de uso industrial que permita o fabrico de peças em materiais poliméricos ronda os 10000 euros, a nível de operação de fabrico [...] o custo dos consumíveis que é no mínimo os 30€/kg [...] custo de manutenção é muito variável, e vai depender do cuidado que o operador do equipamento terá com o mesmo [...] compósitos e ou metais, o custo do equipamento em si ronda os 200000€ [...]”	A.4.1.1 - Compósitos e Metais; A.4.1.2 - Polímeros; A.4.2.2; A.4.3.2.
N2	“uma máquina FDM de polímeros pode ir dos 1000€ aos 20000€ [...] custos de manutenção para estas máquinas são reduzidos [...] A nível de consumíveis também depende, e 1kg de material pode custar 20€ como pode custar 100€ [...] Uma máquina SLA com qualidade inicia-se por volta dos 10000€, e os consumíveis são mais caros, rondando os 150€ por litro de resina. Para FA de metais, o custo ronda 0.5M€ para uma máquina razoável, e cada kg de material custa em média 500€.”	A.4.1.1 - Metais; A.4.1.2 - Polímeros; A.4.2.1 – SLA e Metais; A.4.3.1.
N3	“Depende do equipamento, mas temos impressoras <i>Ultimaker</i> e <i>Prusa</i> [...] custos de manutenção são muito reduzidos e os custos de produção em si são os custos da eletricidade e dos filamentos [...]”	A.4.3.1.
N4	“A impressora que está presente no TO na Roménia é a <i>Prusa MK3S</i> que custa cerca de 1300€ [...] rolo de filamento de material custa 20/30€/kg [...] custos de manutenção são reduzidos e estão associados só aos custos de eletricidade [...]”	A.4.1.2 - FDM; A.4.2.2; A.4.3.1.
N5	“O custo da impressora que temos, a <i>Prusa</i> custa 1000€ [...] aproximadamente 20€/ano a nível de custos de manutenção [...] um rolo de filamento para esta máquina custa entre 17 a 20€ [...] exemplo peça 10cmx10cmx10cm custa, aproximadamente 1€”	A.4.1.2 - FDM; A.4.2.2; A.4.3.1.
N6	“Não acompanhei nenhum processo com o custo	A.4.3.3.

	associado”	
N7	“[...] as que utilizei o seu valor ronda 2000€.”	A.4.1.2 – FDM.
Pergunta nº2	Preencha os seguintes quadros de acordo com a capacidade de fabrico em cada tipo de unidade. O quadro a) enquadra-se nas capacidades atuais e o quadro b) nas capacidades futuras do FA (LNO – Lista de Níveis Orgânicos; LNA – Lista de Níveis de Apoio).	
N1	a) <u>Nível I</u> – Não existe; <u>Nível II</u> – LNO / Polímero; <u>Nível III</u> - LNO / Polímero; b) <u>Nível I</u> – LNO / Polímero; <u>Nível II</u> – <u>Man A/D</u> (LNO e LNA) / Polímero; <u>Man A/G</u> (LNO e LNA) / Compósito e Metal; <u>Nível III</u> – (LNO e LNA) / Polímero, Compósito e Metal;	B.2.1.
N2	a) <u>Nível I</u> – Não existe; <u>Nível II</u> – Não existe; <u>Nível III</u> - LNA / Polímero; b) <u>Nível I</u> – (LNO e LNA) / Polímero; <u>Nível II</u> – (LNO e LNA) / Polímero e Compósito; <u>Nível III</u> – (LNO e LNA) / Polímero, Compósito e Metal;	B.2.1.
N3	a) <u>Nível I</u> – Não existe; <u>Nível II</u> – LNO / Polímero; <u>Nível III</u> – Não existe; b) <u>Nível I</u> – LNO / Polímero; <u>Nível II</u> – (LNO e LNA) / Polímero, Compósito e Metal; <u>Nível III</u> – Não existe;	B.2.1.
N4	a) <u>Nível I</u> – (LNO e LNA) / Polímero; <u>Nível II</u> – Não existe; <u>Nível III</u> – Não existe; b) <u>Nível I</u> – (LNO e LNA) / Polímero; <u>Nível II</u> – <u>Man A/D</u> (LNO e LNA) / Polímero e Metal; <u>Man A/G</u> Não existe; <u>Nível III</u> – Não existe;	B.2.1.
N5	a) <u>Nível I</u> – LNO / Polímero; <u>Nível II</u> – <u>Man A/D</u> LNO / Polímero; <u>Man A/G</u> Não existe; <u>Nível III</u> – Não existe; b) <u>Nível I</u> – LNO / Polímero e Compósito; <u>Nível II</u> – LNO / Polímero e Compósito; <u>Nível III</u> – LNO / Polímero, Compósito e Metal;	B.2.1.
N6		
N7	a) <u>Nível I</u> – LNA / Polímero; <u>Nível II</u> – <u>Man A/D</u> LNA / Polímero; <u>Man A/G</u> Não existe; <u>Nível III</u> – Não existe; b) Sem resposta.	B.2.1.

Pergunta n°5	A implementação ou manutenção dos equipamentos foram feitos em parceria com uma empresa ou entidade civil especializada em FA? Qual ou que tipo de instituição?	
N1	“[...] CINAMIL e IST.”	B.5.1; B.5.2.
N2	“[...] CINAMIL, sendo a única exceção a máquina de FDM adquirida pelo Centro de Manutenção da UAGME. [...] IST [...] não existe nenhuma parceria com a indústria, no entanto, existe interesse de ambos os lados, e tem existido contacto com duas empresas de FA, uma de polímeros e outra de metais [...]”	B.5.1; B.5.2; B.5.3.
N3	“[...] CINAMIL, UAGME e Regimento de Manutenção, mas creio que não haja nenhum fornecedor específico de impressoras [...]”	B.5.1; B.5.3; B.5.4.
N4	“Que eu saiba não [...]”	B.5.4.
N5	“Não tenho conhecimento”	B.5.4.
N6	“Não acompanhei a implementação nem nenhuma manutenção.”	B.5.4.
N7	“Nos que utilizei na Força Nacional Destacada na Republica Centro Africana (FND/RCA) não havia nenhuma parceria.”	B.5.4.
Pergunta n°6	Que tipo de sobressalentes são produzidos através do FA e que materiais são utilizados para tal?	
N1	“[...] peças/componentes desde os materiais poliméricos, vulgarmente designados como plásticos, matérias compósitos e materiais metálicos. [...]”	B.6.1.1; B.6.1.2; B.6.1.3.
N2	“[...] Já produzimos peças para diversas viaturas e equipamentos, tais como uma pega para o módulo RWS da VBR Pandur II, difusores AC da HUMVEE, Caixas de proteção para os estabilizadores de bateria da VBR Pandur II, fixadores dos contra-peso do capacetes para o TO da RCA, uma tampa para o punho da FN Scar [...] os materiais têm sido à base de polímero, com destaque para o PETG, Policarbonato, ASA, Nylon, TPU e Carbon. Mais recentemente, numa fase exploratória de uma parceria com uma empresa de FA de metal, a HyperMetal, conseguimos imprimir uma peça do sistema de escape do CC Leopard 2A6 [...]”	B.6.1.1; B.6.1.3; B.6.2.1; B.6.2.2; B.6.2.3.
N3	“[...] peças são feitas em PETG ou PLA. De interesse, já foram produzidas peças para a PANDUR e VAMTAC, nomeadamente peças que partem facilmente e que são rapidamente substituídas. Peças para serem aplicadas em equipamentos (capacete, colete balístico) [...] armamento, nomeadamente na Glock, SCAR e aparelhos de pontaria.”	B.6.1.1; B.6.2.1; B.6.2.2; B.6.2.3.
N4	“No TO da Roménia já foram produzidas e aplicadas 4 tampas do punha da espingarda SCAR, 1 olhal do fiador da Glock, 3 peças para bandoleira, 1 suporte para injetor Land Rover Defender, 2 caixas para bateria	B.6.1.1; B.6.2.1; B.6.2.2; B.6.2.3;

	do comando do guincho da grua da Pandur. Já foram produzidos, mas não aplicados 1 tampa do flashkill da mira ACOG e 1 comutador de tiro da espingarda SCAR. Estamos, neste momento, a produzir sobressalentes para material de comunicações e comutador do holofote das Pandur. Encontra-se também em processo de teste 4 tampas protetoras para mira ACOG [...] Os materiais utilizados são o PLA, PetG e TPU”	B.6.3.
N5	“[...] peças para armamento em PLA e PetG”	B.6.1.1; B.6.2.1.
N6	“Peças para o novo armamento principalmente. Foram utilizados vários materiais, sendo que o que tem resultado melhor é o carbono”	B.6.1.1; B.6.2.1.
N7	“Na FND/RCA foram produzidas essencialmente peças para armas ligeiras e equipamento individual, tendo sido produzidas essencialmente em PETG, Policarbonato.”	B.6.1.1; B.6.2.1; B.6.2.3.
Pergunta n°7	Considera a implementação do FA sustentável face ao ciclo de vida dos sobressalentes produzidos? Porquê?	
N1	“[...] sustentável, pois permite a aplicação de uma peça temporária até que a cadeia logística tenha tempo para fornecer uma peça de substituição.”	C.7.1; C.7.2.3.
N2	“[...] sim! Em termos de propriedades das peças produzidas por FA, esta podem ser tão ou melhores que as peças por métodos tradicionais, tudo depende do desenvolvimento da própria [...] permite diminuir a pegada logística”	C.7.1; C.7.2.2.
N3	“[...] é sustentável, principalmente para peças que não existem no mercado [...] melhorar peças originais [...] implementação de peças tão duradouras como as originais [...] demorem muito tempo a chegar [...]”	C.7.1; C.7.2.3.
N4	“[...] sim! [...] relativamente barato e flexível, ou seja, permite fazer peças de formas, tipologias e de aplicações muito diferentes [...] principalmente o fabrico de peças que pertencem a um conjunto de peças e que não consegues comprar individualmente [...] resolução fácil [...] no entanto o PLA é sensível a deterioração a luz solar, apesar de ainda não ter acontecido [...]”	C.7.1; C.7.2.1; C.7.2.3.
N5	“sim, para peças que têm um histórico de fraturar várias vezes, compensa [...] peças que sofram trabalhos mais dinâmicos, que envolvam movimentos, forças, compressões, tensões elevadas, ou seja, peças que se ponham em viaturas ou que estejam diretamente ligadas ao tiro, que sofram impacto dos gases são precisos testes e ainda não foram feitos [...]”	C.7.1; C.7.2.4.
N6	“Sim, algumas peças no novo armamento estão a dar mais garantia que as originais.”	C.7.1.

N7	“No meu ponto de vista sim, mas ainda teremos um longo caminho a percorrer para que o FA possa ser uma opção totalmente implementada que nos dê garantias a nível de qualidade e durabilidade quando em confrontação com as técnicas convencionais.”	C.7.1.
Pergunta nº8	Quais os maiores benefícios, limitações e aplicações do FA nas FFAA?	
N1	“O maior benefício do FA nas FFAA é permitir fabricar peças/componentes em qualquer lugar com recurso a uma base de dados de peças, e assim diminuir a necessidade de grandes de <i>stocks</i> de sobressalentes. No entanto existem algumas limitações, atualmente a base de dados tem um número de artigos reduzidos [...] Outra limitação que existe é conjugar o FA com outras técnicas de fabrico. De forma a rentabilizar o investimento nestas tecnologias devia ser estudo a possibilidade de utilização conjunta destes meios pelos três ramos das FFAA, de forma a aproveitar e concentrar o know-how dos militares num só local e evitar a duplicação de meios humanos e materiais.”	C.8.1.1; C.8.1.2; C.8.1.3; C.8.1.7; C.8.2.1; C.8.4.
N2	“[...]Os benefícios destaco a redução do Mean Time to Repair, o que tem como consequência uma maior prontidão, a autonomia estratégia a nível de fabrico, que é colocada à prova sempre surgem catástrofes e como a recente pandemia, e nos TO de forma quase diária, e a redução de custos [...] diminuição de custos logísticos [...] em vez de ter de fazer <i>stock</i> de diversos sobressalentes, posso substituir por material para FA e utilizar conforme a necessidade [...] fabrico flexível [...] fabricar peças com elevada complexidade funcional [...] redução do desperdício de material [...] As limitações [...] equipamentos – que necessitam de um investimento inicial avultado, recursos humanos qualificados – fundamentais para a qualidade e para a utilização de forma menos centralizada. Em termos de aplicações, esta pode ser aplicada em todos os níveis de manutenção [...] todas as UEOs poderiam tirar vantagens do FA, através de um pequeno investimento (1000€ mais consumíveis) em uma máquina FDM, e na formação, por exemplo, do sargento de material existente [...] Assim, o desenvolvimento do produto ficaria centralizado no Centro de Manutenção, e o fornecimento seria digital e materializado na própria UEO. A tecnologias mais caras, como eventualmente fabrico de metais, devido ao custo ficaria centralizada também no Centro de Manutenção.”	C.8.1.1; C.8.1.2; C.8.1.3; C.8.1.4; C.8.1.5; C.8.1.6; C.8.1.7; C.8.2.2; C.8.2.3; C.8.3.2; C.8.3.3; C.8.4.
N3	“[...] facilidade na substituição de peças em desuso [...] melhoria de peças originais [...] produção	C.8.1.2; C.8.1.3;

	mais rápida e com fácil acesso [...] Limitações passam por dar formação ao pessoal [...] criação de uma plataforma que dê para fazer pedidos e distribuir peças [...] tecnologia muito cara [...] limitações a nível de fabrico de determinadas peças como peças para um motor, que aguentem muito calor e pressão [...] aplicação centralizada no Centro de Manutenção [...]"	C.8.1.8; C.8.1.9; C.8.2.2; C.8.2.3; C.8.3.3; C.8.4.
N4	“[...] permite arranjar pequenas peças que não fáceis de comprar separadamente [...] permite colmatar faltas de <i>stock</i> [...] muito flexível e versátil [...] simples [...] autonomia a nível logístico [...] independência de fabricantes e dos preços [...] redução dos tempos de resposta [...] a principal desvantagem passa por ainda estarmos apenas no fabrico em plástico [...] Aplicações a nível de manutenção de unidade e de apoio direto [...]"	C.8.1.2; C.8.1.3; C.8.1.4; C.8.1.5; C.8.1.7; C.8.3.4; C.8.4.
N5	“fabrico de peças em escassez para viaturas e armamento [...] facilidade produção [...] inovar e melhorar determinadas peças [...] muita flexibilidade [...] custos reduzidos [...] Patentes de segurança associadas a algumas peças de viaturas e armamento que limitam a implementação de certas peças [...] formação e atualização de conhecimento do pessoal [...] aplicação e conhecimento das impressoras [...] limitação de fabrico devido à tecnologia da impressora [...] aplicações iniciais passam pelo fabrico de peças [...] fabrico de objetos personalizados [...] outra aplicação passa pelo melhoramento do conforto da força, aumentando a moral”	C.8.1.3; C.8.1.5; C.8.1.8; C.8.1.9; C.8.2.1; C.8.2.3; C.8.2.4; C.8.4.
N6	“Os benefícios passam pela produção de sobressalentes difíceis de encontrar, melhorar peças originais, baixo custo de produção [...] as limitações são a dificuldade de produção de peças sem modelo, necessidade de conhecimento técnico para desenvolvimento de modelos ou dependência de terceiros para desenvolvimento dos mesmos. Tempo desde inicio de desenvolvimento de um modelo, até à sua produção, tendo de passar pelo teste do artigo, podendo ser necessárias várias modificações, tanto no modelo, como na técnica de fabrico”	C.8.1.8; C.8.1.9; C.8.2.3; C.8.2.4; C.8.4.
N7	“Quanto a benefícios destaco a sua versatilidade e rapidez de produção [...] quanto a limitações realço o custo de aquisição de equipamentos com padrões industriais e a adaptabilidade tecnológica aos nossos quadros de pessoal.”	C.8.1.3; C.8.1.6; C.8.2.2; C.8.2.3.

ANEXOS

Anexo A - Matriz SWOT

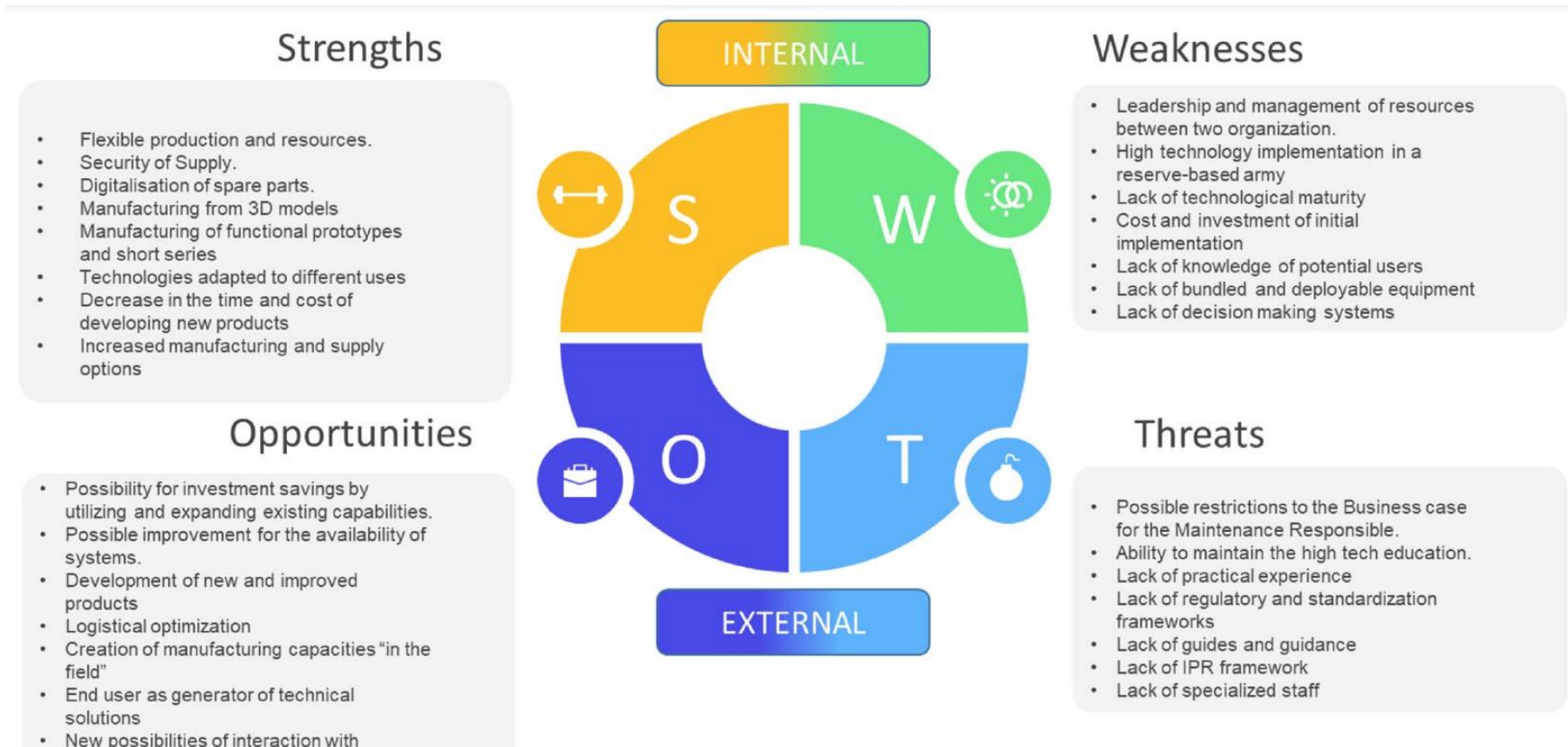


Figura n.º 3 - Matriz SWOT
Fonte: Rautio & Valtonen (2022)