



# O PAPEL DA MANUFATURA ADITIVA NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS DO SETOR METALÚRGICO E METALOMECÂNICO NUM CONTEXTO DE MUDANÇA

NUNO HUMBERTO CARVALHO ARAÚJO  
Mestre em Economia

DOUTORAMENTO EM AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA

Universidade NOVA de Lisboa

maio 2022



# O PAPEL DA MANUFATURA ADITIVA NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS DO SETOR METALÚRGICO E METALOMECÂNICO NUM CONTEXTO DE MUDANÇA

**NUNO HUMBERTO CARVALHO ARAÚJO**

Mestre em Economia

**Orientador:** Professor Doutor António Brandão Moniz  
Professor Associado com Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
Nova de Lisboa

**Júri:**

**Presidente:** Professor Doutor João Paulo Serejo Goulão  
Crespo.  
Professor(a) Catedrático(a), FCT-NOVA

**Arguentes:** Professora Doutora Ana Clara Cândido,  
Professora Adjunta do Departamento de Ciência da Informação da  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil;  
Doutor Leonardo Filipe Seixas Barreto Costa  
Professor Associado da Católica Porto Business School da  
Universidade Católica Portuguesa;

**Orientador:** Professor Doutor António Brandão Moniz  
Professor Associado com Agregação, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

**Membros:** Professor Doutor João Paulo Serejo Goulão Crespo.  
Professor(a) Catedrático(a), FCT-NOVA

Professor Doutor José António Barata de Oliveira  
Professor Associado com Agregação, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Doutor Nuno Filipe França Gouveia Boavida  
Técnico Superior da Direção-Geral de Estatísticas da Educação e  
Ciência, Ministério da Educação e Ciência.

DOCTORAMENTO EM AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA

**O papel da Manufatura Aditiva na competitividade das empresas do setor Metalúrgico e Metalomecânico num contexto de mudança**

Copyright © Nuno Humberto Carvalho Araújo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **AGRADECIMENTOS**

Desejo exprimir os meus agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, permitiram que esta tese se concretizasse.

Em primeiro lugar quero agradecer ao Prof. Dr. António Brandão Moniz por todo apoio e motivação ao longo destes anos.

Ao Eng. Hildebrando Vasconcelos, principal impulsionador e responsável por ter iniciado esta etapa, pela persistência, incentivo em continuar. Pelo contributo e empenho na formação de tantos colaboradores do CATIM, que tal como eu lhe devem esse “empurrão”. Um grande Bem Haja.

À Vânia Pacheco, pelos conselhos preciosos, pela elevada competência, total disponibilidade e encorajamento naqueles momentos cruciais desta difícil jornada, bem como pela leitura crítica e atenta das versões preliminares da tese, contribuindo para o seu aperfeiçoamento, estou também especialmente grato.

Ao CATIM e ao Conselho de Administração pelo apoio incondicional neste desafio.

Por fim, o meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

## RESUMO

Num contexto industrial marcado por uma crescente transformação tecnológica, prevendo-se avanços ainda mais significativos nas próximas décadas, questionam-se os modelos de gestão e de produção, assiste-se à mudança no comportamento dos mercados e dos consumidores, o que indicia mudanças económicas e sociais profundas. A digitalização, a conectividade e a evolução na automação têm exercido, progressivamente, uma pressão significativa na indústria, por via da alteração dos padrões de competitividade.

Enquanto estágio central numa qualquer cadeia de abastecimento, a indústria da manufatura atua tanto como fonte emissora (partilha) como recetora (absorção) de tecnologias. No presente estudo, esta indústria será o foco da discussão e análise, enquanto fonte recetora de uma tecnologia que, apesar de já não configurar uma novidade, regista continuamente uma forte expansão: Manufatura Aditiva (MA). Identificada como uma das principais “*Key Enabling Technologies*” (KET’s) que advêm do novo paradigma industrial, esta tecnologia é caracterizada e valorizada pela flexibilidade e versatilidade de materiais e geometrias, sendo uma tecnologia estratégica para a inovação e desenvolvimento sustentável.

A decisão associada à incorporação de tecnologias avançadas no processo produtivo, como é o caso da tecnologia MA, tendo como objetivo alcançar vantagem competitiva no mercado, constitui um grande desafio para qualquer empresa. Daqui decorre a importância da Avaliação da Tecnologia em momento prévio à sua seleção e incorporação. É neste contexto que surge o presente estudo, tendo como objetivo geral avaliar o impacto da introdução da tecnologia MA na competitividade das empresas do setor Metalúrgico e Metalomecânico (MM). A análise e mapeamento da evolução desta tecnologia foi complementada com um estudo empírico, que teve como suporte a aplicação de um questionário. Ao nível da análise dos dados foram utilizadas duas ferramentas distintas e complementares: análise quantitativa, utilizando a estatística descritiva para a análise e descrição do fenómeno; análise qualitativa, utilizada para encontrar padrões e irregularidades na informação recolhida.

Sobre os resultados obtidos e numa ótica de Avaliação da Tecnologia, este estudo permitiu identificar potencialidades e limitações associadas à tecnologia MA, bem como avaliar, junto das empresas do setor MM, a sua maturidade no que concerne ao conhecimento e aplicação desta tecnologia no seu processo produtivo. No que refere às potencialidades, as empresas, em particular as do setor MM, demonstram, cada vez mais, o seu interesse pela tecnologia MA, devido às oportunidades associadas à produção de bens com geometrias complexas e personalizáveis, pela redução do *time-to-market*, pela flexibilidade na produção, pelo menor desperdício, pela produção no local e pela celeridade e

proximidade da entrega. Quanto às limitações, as empresas apontam o custo dos equipamentos, a velocidade de produção, a normalização e a limitação dos materiais.

Este estudo permitiu, assim, concluir que: (i) nos casos em que as empresas têm uma produção caracterizada por uma grande variedade de produtos e reduzido volume de produção, a adoção da tecnologia MA revela-se uma opção viável e um contributo positivo para a sua estratégia competitiva; (ii) algumas das limitações associadas à tecnologia MA como o acabamento das peças, a precisão, as propriedades mecânicas de resistência, constituem barreiras tecnológicas que, embora se esperem temporárias, não contribuem para a competitividade da empresa. Por sua vez, quando identificados e analisados os principais critérios competitivos concluiu-se que os critérios Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Inovação são claramente favorecidos pela integração da tecnologia MA nos sistemas produtivos. Pelo contrário, tendo em consideração o estado atual da tecnologia, o critério Qualidade surge associado a impactos negativos na competitividade e, conseqüentemente, na adoção da mesma. Relativamente ao critério Custo, o mesmo revela ser um critério competitivo apenas quando está em causa a produção de pequenos lotes de uma grande diversidade de produtos. Pelo contrário, quando está em causa a produção em massa, a utilização desta tecnologia origina um aumento no tempo do ciclo de produção, o que se revela ser uma limitação, podendo comprometer a competitividade da empresa.

Esta tecnologia tem sido responsável por uma mudança significativa em muitos segmentos da indústria, acrescentando valor ao produto e, em alguns casos, permitindo que as empresas desenvolvam novos produtos e/ou serviços, o que não seria possível através das tecnologias convencionais.

A evolução contínua da tecnologia MA e os resultados positivos que daí advêm para as empresas permitem antever que esta tecnologia assumirá um lugar de destaque no futuro da indústria do setor MM em Portugal.

**Palavras-chave:** indústria, setor metalúrgico e metalomecânico, manufatura aditiva, tecnologias emergentes, competitividade, avaliação da tecnologia, inovação



## ABSTRACT

In an industrial context characterized by an increasing technological transformation, with even more significant advances expected in the coming decades, management and production models are questioned, as well as changes in the behavior of markets and consumers, which indicates major socioeconomic transformations. Digitization, connectivity, and the evolution of automation have progressively created significant pressure on the industry, changing the standards of competitiveness.

As a central stage in any supply chain, the manufacturing industry emerges both as a source of (sharing) and receiving (absorbing) of technologies. In this study, the manufacturing industry will be the focus of discussion and analysis, as a receiving source of a technology that, although it is no longer a novelty, continuously registers a strong expansion: Additive Manufacturing (AM). Identified as one of the main “Key Enabling Technologies” (KET’s) resulting from the new industrial paradigm, this technology is characterized and recognized by the flexibility and versatility of materials and geometries, being a strategic technology for innovation and sustainable development.

The decision associated with the incorporation of advanced technologies in the production process, as is the case of AM technology, with the objective of achieving competitive advantage in the market, constitutes a great challenge for any company. Hence the importance of Technology Assessment before its selection and incorporation. It is in this context that the present study arises, with the general objective of evaluating the impact of the introduction of AM technology on the competitiveness of companies in the Metalworking sector.

The analysis and mapping of the evolution of this technology was complemented with an empirical study, supported by the application of a questionnaire. In terms of data analysis, two distinct and complementary instruments were used: quantitative analysis, using descriptive statistics for the analysis and description of the phenomenon; qualitative analysis, used to find patterns and irregularities in the information collected.

Regarding the results obtained and from a Technological Assessment perspective, this study allowed the identification of potentialities and limitations associated with the AM technology, as well as the assessment of its maturity in terms of knowledge and application of this technology among companies in the Metalworking sector. Regarding the potential, companies, especially those in the Metalworking sector, are increasingly interested in AM technology, due to the opportunities associated with the production of goods with complex and customizable geometries, due to the reduction of time-to-market, due to the production flexibility, less waste, on-site production and the speed and proximity of delivery.

As for the limitations, the companies point out the cost of equipment, production speed, standardization, and limitation of materials.

Thus, this study allowed to conclude that: (i) in cases where companies have a production characterized by a wide variety of products and reduced production volume, the adoption of AM technology proves to be a viable option and a positive contribution for its competitive strategy; (ii) some of the limitations associated with the AM technology, such as the finishing of the parts, the precision, the mechanical properties of resistance, constitute technological barriers that, although expected to be temporary, do not contribute to the company's competitiveness. In turn, when the main competitive criteria were identified and analyzed, it was concluded that the Flexibility, Delivery Performance and Innovation criteria are clearly favored by the integration of AM technology in production systems. On the contrary, taking into account the current state of technology, the Quality criteria is associated with negative impacts on competitiveness and, consequently, on its adoption. Regarding the Cost criteria, this is seen as competitive criteria only when it comes to the production of small batches of a great diversity of products. On the contrary, when it comes to mass production, the use of this technology leads to an increase in the production cycle time, which proves to be a limitation and may compromise the company's competitiveness.

This technology has been responsible for a significant change in several segments of the industry, adding value to the product and, in some cases, allowing companies to develop new products and/or services, which would not be possible through conventional technologies.

The continuous evolution of the AM technology and the positive results it brings to companies allow us to foresee that this technology will assume a prominent place in the future of the Metalworking industry in Portugal.

Keywords: Industry, metalworking sector, additive manufacturing, emerging technologies, competitiveness, technology assessment, innovation

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>xix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xxi</b>
<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral.....	2
1.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 Pergunta de Investigação.....	5
1.4 Aderência do Tema ao Programa Doutoral.....	7
<b>Capítulo 2 - MANUFATURA ADITIVA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Contextualização .....	15
2.2 Conceitos Fundamentais.....	17
2.3 Principais processos de MA .....	30
2.4 Principais aplicações da MA.....	34
2.5 A MANUFATURA ADITIVA E AS KET's.....	42
2.6 Análise SWOT .....	43
2.7 Contexto Mundial da MA .....	47
2.8 Caracterização da Indústria do Setor Metalúrgico e Metalomecânico.....	58

2.9 A Competitividade e a Estratégia Competitiva .....	78
2.10 A Relação entre Competitividade e a Tecnologia MA.....	87
<b>Capítulo 3 - METODOLOGIA.....</b>	<b>97</b>
3.1 Categorização da investigação .....	97
3.2 Abordagens e método aplicados .....	97
3.3 Questionário, População e amostra .....	99
3.4 Instrumentos de recolha de dados .....	101
3.5. Análise Qualitativa .....	102
<b>Capítulo 4 - O IMPACTO DA MANUFATURA ADITIVA NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS DA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA .....</b>	<b>109</b>
4.1 Principais características da amostra obtida .....	109
4.2 Análise Quantitativa.....	113
4.3 Os Determinantes da Utilização da MA e os Critérios Competitivos .....	121
<b>Capítulo 5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>127</b>
5.1 Sumário dos resultados alcançados.....	127
5.2 Conclusão Final .....	134
5.3 Limitações da Investigação e Aspetos a investigar no futuro .....	136
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>155</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Elementos e Objetivo Geral da Tese .....	3
Figura 1.2 – Novidade e Contribuição Teórica da Tese.....	10
Figura 1.3 - Esquema da Estrutura do Trabalho .....	13
Figura 2.1 – Evolução do Custo ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto .....	21
Figura 2.2 – Percentagem da utilização da tecnologia MA nas várias fases de desenvolvimento do produto.....	22
Figura 2.3 - Manufatura Subtrativa VS Manufatura Aditiva.....	23
Figura 2.4 - MODELO SÓLIDO EM CAD 3D CONVERTIDO PARA REPRESENTAÇÃO STL .....	26
Figura 2.5 - Categorização do processo de manufatura aditiva .....	31
Figura 2.6 - Exemplos de Aplicação da MA na Medicina.....	37
Figura 2.7 - Exemplos de Aplicação da MA na Indústria Automóvel e Aeronáutica.....	39
Figura 2.8 - Áreas de interesse para a ASTM F42/ISO TC 261 .....	52
Figura 2.9 - Matriz Importância - Desempenho.....	83
<b>Figura 2.10 Ponto de Equilíbrio Conceptual entre Produção Tradicional/Convencional e MA ..</b>	<b>88</b>
Figura 2.11 - Ponto de Equilíbrio Conceptual entre Produção Tradicional/Convencional e MA .....	89
Figura 3.1 - As Empresas do Estudo em Clusters .....	102
Figura 3.2 - Codificação dos dados.....	105
<b>Figura 3.3 - Dos códigos ao Tema Global.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 3.4 - Mapa Temático Final.....</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Percentagem de indústrias que utilizam a MA por país.....	23
Gráfico 2.2 – Peso dos setores económicos no mercado mundial da MA .....	35
Gráfico 2.3 – Peso dos setores económicos no mercado europeu da MA.....	35
Gráfico 2.4 – Evolução da Integração da MA, por setor económico.....	36
Gráfico 2.5 - N.º de empresas do Setor MM em 2018 e respetivo Volume de Negócios (M€).....	59
Gráfico 2.6 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: N.º de empresas por setor de atividade (2018) .....	60
Gráfico 2.7 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: Volume de Negócios em 2018 (PPP USD) .....	61
Gráfico 2.8 – Produtos com maior peso no Volume de Negócio das empresas do setor MM nos Mercados Nacional e Internacional .....	63
Gráfico 2.9 – Produção da Indústria Transformadora dos países da OCDE, em 2018 (PPP USD, preços correntes).....	64
Gráfico 2.10 - Intensidade Exportadora: Setor MM e média Indústria Transformadora .....	65
Gráfico 2.11 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: N.º de Empresas Exportadoras, por setor de atividade (2018).....	66
Gráfico 2.12 - Intensidade Exportadora da Indústria Transformadora nos países da OCDE, por setor de atividade, em 2018 (Milhões de USD).....	67
Gráfico 2.13 - Valor Acrescentado Bruto: Setor MM e média da Indústria Transformadora (base=2016; Milhões de Euros).....	68
Gráfico 2.14 - Valor Acrescentado Bruto da Indústria Transformadora nos Países da OCDE, em 2018 (PPP USD, Milhões) .....	69

Gráfico 2.15 - Produtividade aparente do trabalho: Setor MM e média da Indústria Transformadora (Rácio, Euros).....	70
Gráfico 2.16 – Produtividade do Trabalho na Indústria Transformadora nos países da OCDE, em 2018 (valor acrescentado por pessoa no ativo, PPP USD) .....	71
Gráfico 2.17 - Taxa de Investimento: Setor MM e média da Indústria Transformadora.....	72
Gráfico 2.18 – Evolução do Investimento em I&D na indústria Transformadora em Portugal (Euros). 73	
Gráfico 2.19 - Evolução do Investimento em I&D na indústria do setor MM em Portugal (Euros) .....	74
Gráfico 2.20 - Investimento em I&D (2018) na indústria Transformadora dos países da OCDE (PPP USD, preços correntes) .....	74
Gráfico 2.21 - Investimento em I&D na indústria do setor MM nos países da OCDE, em 2018 (Milhões de USD).....	75
Gráfico 2.22 - Despesas em atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D), por sector de execução .....	80
Gráfico 2.23 - Pessoal Total (ETI) em atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D), por sector de execução .....	81
Gráfico 4.1 - Distribuição Geográfica (NUTS - 2013) da amostra obtida (N.º) e da Indústria do Setor MM (N.º) .....	110
Gráfico 4.2 – Amostra Obtida (N.º) e empresas do Setor MM (N.º), por escalão de pessoal ao serviço .....	111
Gráfico 4.3 - Distribuição da amostra obtida por Ramo de Atividade, comparando com a distribuição das empresas do Setor MM (2018).....	111
Gráfico 4.4 - Evolução média da intensidade exportadora do setor MM .....	112
Gráfico 4.5 - Volume de Faturação da amostra obtida associado ao mercado interno e mercado externo (%) .....	112
Gráfico 4.6 - Está familiarizado com a tecnologia de Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D? .....	114
Gráfico 4.7 - Já utilizou/utiliza a tecnologia de MA na sua empresa?.....	114

Gráfico 4.8 - Estaria interessado em utilizar esta tecnologia, incorporando-a no seu processo produtivo? .....	115
Gráfico 4.9 - Quantos equipamentos de MA utilizam? .....	115
Gráfico 4.10 - Quantos colaboradores estão afetos ao trabalho com esta tecnologia (MA) .....	116
Gráfico 4.11 - Utiliza/utilizou esta tecnologia para que finalidade? .....	116
Gráfico 4.12 - Que tipos de materiais utiliza/utilizou? .....	117
Gráfico 4.13 - Quais as razões que estão/estariam/estiveram na base da adoção da tecnologia de MA pela sua empresa? .....	117
Gráfico 4.14 - Quais os principais benefícios/vantagens que associa à tecnologia de manufatura aditiva? .....	118
Gráfico 4.15 - Quais as principais limitações/dificuldades que associa à implementação da tecnologia de manufatura aditiva? .....	118
Gráfico 4.16 - Na sua opinião que tipo de questões relacionadas com segurança associa a esta tecnologia? .....	119
Gráfico 4.17 - Respostas ao Questionário: Relação entre a dimensão da empresa (considerando o escalão de pessoal ao serviço) e a adoção desta tecnologia .....	120
Gráfico 4.18 - Média da taxa de exportação das empresas que utilizam e não utilizam a tecnologia de MA .....	120



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características e Potencialidades da Manufatura Subtrativa e Manufatura Aditiva .....	24
Tabela 2.2 - Processos de MA .....	30
Tabela 2.3 – Análise SWOT .....	43
Tabela 2.4 - Normas Publicadas pelo Comité ISO/ TC 261.....	53
Tabela 2.5 - Normas em Desenvolvimento pelo Comité ISO/TC 261 .....	54
Tabela 2.6 - Lista dos três produtos com maior peso no Volume de Negócio por subsetor, bem como o peso de cada um no mercado nacional e internacional .....	61
Tabela 2.7 - Impactos da Manufatura Aditiva na Indústria.....	90
Tabela 2.8 – O impacto da MA nos critérios competitivos .....	95
Tabela 3.1 - Etapas a observar na análise qualitativa .....	104
Tabela 4.1 – Principais Determinantes para a Utilização da Tecnologia de MA, de acordo com as empresas do estudo .....	121
Tabela 4.2 – Relação entre Impactos, Determinantes e os Critérios Competitivos, num contexto de aplicação da MA .....	122



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile – Butadiene – Styrene (Acrilonitrilo-butadieno-estireno)
AFNOR	<i>Association Française de Normalization</i> (Associação Francesa de Normalização)
ASA	<i>acrylonitrile styrene acrylate</i> (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
AT	Avaliação da Tecnologia ( <i>Technology Assessment</i> )
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho assistido por computador)
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i> (Manufatura Assistida por Computador)
CEN CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i> (Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica)
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> (Diretor Executivo)
CPL	<i>Committee on Production and Logistics</i> (Comité de Produção e Logística)
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i> (Sistemas Ciber-Físicos)
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DEI	<i>Digitising European Industry initiative</i> (Iniciativa de Digitalização da Indústria Europeia)
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i> (Modelagem de Deposição Fundida)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de posicionamento global)
HMI	<i>Human Machine Interface</i> (Interface Homem-Máquina)

I&D	Investigação e Desenvolvimento ( <i>Investigation and Development</i> )
i4.0	<i>Industry 4.0</i> (Indústria 4.0)
IoS	<i>Internet of Services</i> (Internet dos Serviços)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
KET's	<i>Key Enabling Technologies</i> (Tecnologias de Largo Espetro)
LSPs	<i>Large Scale Projects</i> (Projetos de Grande Escala)
M2M	<i>Machine to Machine</i> (Máquina para Máquina)
MA	Manufatura Aditiva ( <i>Additive Manufacturing</i> )
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (Instituto Tecnológico de Massachusetts)
MM	Metalúrgico e Metalomecânico ( <i>Metalworking</i> )
NSB	National Standards Body (Órgão Nacional de Normalização)
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico ( <i>Organization for Economic Cooperation and Development</i> )
PC	<i>Polycarbonate</i> (Policarbonato)
PDAT	Programa Doutoral em Avaliação de Tecnologia ( <i>Doctoral Program in Technology Assessment</i> )
PIB	Produto Interno Bruto ( <i>Gross Domestic Product</i> )
PIE	<i>Production in the Innovation Economy</i> (Produção na Economia da Inovação)
PLA	<i>Poly Lactic Acid</i> (Ácido Polilático)
PPPs	<i>Public-Private Partnerships</i> (Parcerias Público-Privadas)

PR	<i>Protótipo Rápido (Rapid Prototype)</i>
SDOs	<i>Standards Developing Organizations (Organizações de Desenvolvimento de Normas)</i>
SIS	Swedish Institute for Standards (Instituto Sueco de Normalização)
SLA	<i>Stereolithography (Estereolitografia)</i>
SLM	<i>Selective Laser Melting (Fusão Seletiva a Laser)</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering (Sinterização Seletiva a Laser)</i>
STL	<i>Surface Tessellation Language (Linguagem Padrão de Infusão de Mosaicos)</i>
TC	<i>Technical Committee (Comité Técnico)</i>
UAVs	<i>Unmanned Aerial Vehicles (Veículos Aéreos não Tripulados)</i>
UE	União Europeia ( <i>European Union</i> )
VDI	<i>Association of German Engineers (Associação de Engenheiros Alemães)</i>

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

A conjuntura atual expõe as empresas a ameaças e desafios que passam pela volatilidade dos mercados, forte concorrência internacional, rápido avanço tecnológico, customização em massa ou a necessidade de diminuição do ciclo de vida do produto, mas também pela necessidade de adaptação a um novo paradigma industrial, em consequência do modelo trazido pela indústria 4.0 e o conjunto de tecnologias que a tornam possível, a digitalização da indústria e a internet das coisas (IoT), ligando o físico e o digital através de sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems* - CPS). Neste contexto, a resposta das empresas passa pela aposta na inovação, por alterações aos processos de desenvolvimento e de fabrico, aos produtos em si, e aos modelos de negócio.

Neste novo cenário industrial, marcado por fortes pressões competitivas que exigem a redução dos custos de produção e o acompanhamento das tendências, e por consumidores cada vez mais exigentes no que diz respeito à qualidade do produto, a flexibilidade e a agilidade surgem como fatores chave para garantir a otimização da produção e a sobrevivência das empresas (Borangiu et al., 2019). A resposta às novas necessidades implica o desenvolvimento e implementação de novas soluções, o que por sua vez estimula o surgimento de novos paradigmas. Esta tendência tem ditado a evolução registada nos sistemas produtivos, em particular da indústria da manufatura, os quais se destacam pela sua flexibilidade e capacidade de adaptação (Dionísio Rocha et al., 2015) características fundamentais para a sua sustentabilidade e resiliência (Borangiu et al., 2019; Peres et al., 2020).

Na indústria da manufatura dominam, fundamentalmente, três processos distintos: o processo por subtração, o processo formativo e o processo por adição.

O processo subtrativo tem início num “bloco” de matéria-prima (aço, madeira, plástico, polímero) que será desgastado até se chegar ao produto final. Existem vários processos de manufatura subtrativa que têm este princípio subjacente, como por exemplo, a maquinação CNC (*Computer Numerical Control*), fresagem, torneamento, electro erosão. Estes processos industriais originam desperdícios e/ou subprodutos, como as limalhas, aparas etc, cujo tratamento implica custos adicionais para as empresas (económico-financeiros e ambientais). Para além disso a empresa tem de suportar custos energéticos como por exemplo derivados do arrefecimento da matéria-prima, recorrendo a água ou outros métodos.

O processo formativo utiliza tecnologias de fabrico, envolvendo processos como a fundição, moldagem por injeção ou moldagem por compressão.

O presente estudo centrar-se-á no processo por adição, o qual está sobretudo vocacionado para o fabrico de protótipos, pequenas séries ou até peças únicas, que exigem uma grande flexibilidade

estrutural. Ao contrário do processo subtrativo, as tecnologias de manufatura aditiva são “limpas”, pois recorrem a tecnologias aditivas, cuja filosofia está centrada na deposição camada a camada de matéria-prima. Este processo e a tecnologia subjacente não produzem subprodutos ou resíduos, o que aliado à redução dos ciclos produtivos leva a poupanças energéticas, tornando o processo e a tecnologia mais “limpa”.

Resumidamente a MA (também conhecida como impressão 3D) consiste no processo de união de materiais para produzir objetos a partir de modelos numéricos tridimensionais (3D), e a partir dessa informação determinar a trajetória e os parâmetros de deposição, que são processados por quatro componentes básicos: controlador CNC; sistema de movimentação; fonte de energia; e um sistema alimentação do material de adição (Gibson et al., 2015).

Se até há bem pouco tempo esta tecnologia era apenas usada para fins muito específicos e pouco difundida, está agora, cada vez mais, a ser utilizada em processos industriais, devido às suas vantagens face a processos tradicionais, nomeadamente no fabrico de produtos com geometria complexa ou pequenas séries.

De acordo com Joe Allisson, CEO da Stratasys Direct Manufacturing<sup>1</sup>, a utilização da MA no fabrico de produtos surge como uma vantagem competitiva para as empresas, prevendo-se que aquelas que não avancem rapidamente com o investimento nesta tecnologia, brevemente apresentarão uma desvantagem considerável.

Assim, a presente investigação visa, numa primeira fase e recorrendo à revisão da literatura, mapear a evolução da tecnologia MA e traçar o estado da arte, seguindo-se a análise e interpretação dos dados obtidos por via da resposta a um questionário, culminado na resposta à questão de investigação que norteia todo este estudo, relativa às implicações ao nível da competitividade da indústria da manufatura, em concreto, da indústria do setor MM, decorrentes da introdução desta tecnologia nos seus processos produtivos.

## 1.1 Objetivo Geral

A incorporação de tecnologias avançadas no processo produtivo, assume, cada vez mais, uma importância irrevogável quando se pretende alcançar vantagem competitiva no mercado. Contudo, a decisão associada à sua integração constitui um grande desafio para qualquer empresa, o que justifica e determina a necessidade de se proceder à avaliação da tecnologia em momento prévio à sua seleção

---

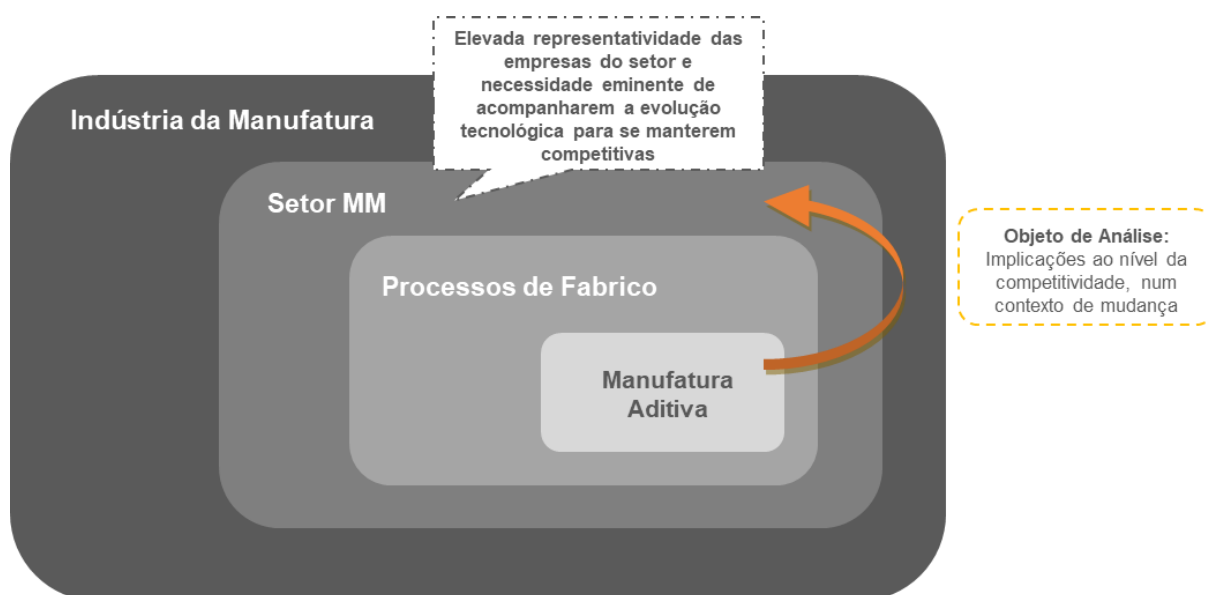
<sup>1</sup> <https://www.todaysmedicaldevelopments.com/article/medical-device-3d-printing-stratasys-direct-manufacturing-081415/> (consultado em 15.4.2020)

e incorporação. A introdução de uma nova tecnologia deverá, assim, constituir-se como uma estratégia refletida, avaliada e validada, por forma a analisar previamente a sua viabilidade.

É neste contexto que surge a presente investigação, cujo objetivo geral consiste em analisar, identificar e avaliar o impacto da introdução de uma determinada tecnologia (MA) na competitividade das empresas de um determinado setor (MM). Tendo em consideração o crescente recurso a esta tecnologia e as projeções para o futuro, o contexto em que é utilizada e por quem é utilizada, o presente estudo procurará identificar e avaliar as implicações da introdução desta tecnologia ao nível da competitividade das empresas do setor MM, tendo em consideração a flexibilidade ao nível do desenvolvimento/desenho do produto e processo que proporciona, a redução de desperdícios, a capacidade de produzir, de uma só vez, produtos complexos e funcionais, a liberdade de fabricação de produtos, peças ou componentes apenas limitados pelas leis da física e da imaginação do designer, e ainda a possibilidade de customização aliada ao fabrico de pequenas séries, procurando reduzir custos de produção e incrementando os níveis de eficiência na indústria.~

A Figura 1.1 apresenta um resumo dos principais elementos que compõem o objetivo geral desta investigação.

**Figura 1.1 - Elementos e Objetivo Geral da Tese**



Fonte: Elaboração própria

## 1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são os responsáveis pela resolução do objetivo geral e servem de guia do conteúdo que será abordado neste estudo. Assim e sendo o objetivo geral deste estudo, analisar, identificar e avaliar o impacto da introdução de uma determinada tecnologia (MA) na competitividade das empresas de um determinado setor (MM), estabeleceram-se as seguintes ações: Revisão de literatura no sentido de investigar a evolução da tecnologia MA e estado da arte da mesma, centrando a análise na sua aplicabilidade ao nível da indústria do setor MM, o que implica os seguintes passos:

- Identificar/definir as palavras-chave que irão nortear toda esta investigação;
- Considerar as palavras-chave no motor de busca de várias plataformas online com bibliografia diversa sobre o tema;
- Selecionar e esquematizar a informação mais pertinente para a investigação em causa;
- Analisar a informação recolhida, tendo como objetivo contextualizar a tecnologia no meio industrial e fazer um balanço das evoluções mais recentes da mesma, apresentando alguns testemunhos e boas práticas, constituindo mais um contributo para a confirmação e difusão da importância que esta tecnologia tem assumido ao nível industrial;
- Identificar e analisar as principais potencialidades, aplicações e processos desta tecnologia, descrevendo os principais desafios e oportunidades, no atual cenário.

De seguida a realização de uma investigação empírica, por via da aplicação de um questionário, tendo como objetivo avaliar, junto das empresas do setor MM, a sua maturidade no que concerne ao conhecimento e aplicação desta tecnologia, permitindo, desta forma, identificar possíveis estrangulamentos, bem como casos de sucesso, ou seja, permitindo avaliar impactos. Esta fase envolverá as seguintes atividades:

- a. Definição da população e seleção da amostra
- b. Elaboração do questionário
- c. Envio do questionário e recolha dos dados
- d. Análise dos dados recolhidos

Tendo em consideração os dados e informação recolhidos nas fases anteriores, o estudo passará a focar-se no objeto que foi previamente definido, procurando, assim, dar resposta à questão de investigação e finalmente apresentar as conclusões da investigação, tendo como base os principais resultados alcançados, principais dificuldades e recomendações.

## 1.3 Pergunta de Investigação

### 1.3.1 Introdução ao Problema

A presente tese de doutoramento foi edificada em torno da seguinte temática: O papel da MA na competitividade das empresas do setor MM, num contexto de mudança.

**A indústria** tem mantido, ao longo dos anos, a liderança global em muitos dos setores. Em 2010, o então vice-presidente da Comissão Europeia, Antonio Tajani, chamou a atenção para a importância da indústria na Europa, a qual se revela indispensável na identificação de soluções para os desafios que se colocam à sociedade, hoje e no futuro (European Commission, 2010). Em 2017, representava mais da metade do volume de exportações, 24% do PIB da União Europeia e oferecia 50 milhões de empregos diretos, correspondendo ao principal motor da economia europeia, (European Commission, 2017).

Contudo, fatores como a fraca procura interna, a rigidez dos processos regulamentares, administrativos e dos mercados de trabalho, o baixo investimento em Investigação e Desenvolvimento (I&D) e inovação, os preços de energia mais elevados para as empresas da União Europeia (UE), bem como os constrangimentos ao acesso a matérias-primas e mão-de-obra qualificada, têm dificultado o crescimento das empresas.

Por sua vez, a Comissão Europeia (CE), no seguimento da apresentação, em setembro de 2017, da estratégia de política industrial (European Commission, 2019; Ghersi et al., 2012), reuniu todas as iniciativas existentes e mais relevantes neste âmbito, construindo uma estratégia abrangente, com vista a incentivar e auxiliar a indústria da UE no seu caminho rumo a um futuro marcadamente digital.

Centrando a atenção na **indústria da manufatura**, a dinâmica registada ao nível das cadeias de valor norte-americanas e asiáticas tem vindo a representar uma ameaça à posição da Europa na ordem mundial da manufatura. Porém, o ambiente cada vez mais competitivo constitui uma oportunidade para promover a transição da manufatura tradicional para a manufatura avançada. Para fazer essa transição, estas empresas não podem centrar a sua atuação estratégica apenas na inovação do produto, sendo necessário identificar os processos/soluções/tecnologias que fornecem à manufatura os meios para criar os produtos de amanhã numa escala industrial.

Num contexto marcado pela alteração do paradigma industrial, onde a transformação digital constitui a principal temática em discussão, a CE destacou as principais **Key Enabling Technologies** – KET's (European Commission, 2020b), designadamente:

- Manufatura Avançada (digitalização, produtos complexos, robótica, produção sustentável, impressão 3D e impressão 4D, inteligência artificial, computação de alta performance para modelação);
- Materiais avançados e nanomateriais;
- Biotecnologias;
- Micro/nanoeletrónica e fotónica (componentes e sistemas eletrónicos muito pequenos e inteligentes que interagem entre si);
- Inteligência Artificial;
- Segurança e conectividade (uma estratégia digital implica a aposta na segurança, confiança e inclusão online).

Estas tecnologias visam impulsionar a inovação em todos os setores da economia que apresentam uma tendência de convergência e integração, sustentando a liderança da Europa nas cadeias de valor industriais. Contudo, a sua crescente complexidade origina novos desafios e dificuldades às empresas, sobretudo às PMEs, na incorporação e internalização do seu potencial de inovação, o que também requer uma atenção redobrada aos aspetos não tecnológicos (Pereira et al., 2018).

As tecnologias avançadas, como a **MA**, resultam da fusão entre o digital e as KET's e da integração entre os sistemas físicos e digitais, dando origem a modelos de negócios inovadores e novos processos, além da criação de produtos e serviços inteligentes (Araújo et al., 2021). Estas tecnologias constituem, assim, um elemento-chave da política industrial europeia (European Commission, 2020a).

Por sua vez, o paradigma industrial atual exige que o tempo de resposta às necessidades do mercado seja mais célere, com custos inferiores. As técnicas tradicionais de manufatura, principalmente em fase de projeto, são lentas e exigem investimentos avultados. A utilização da MA potencia a redução destes fatores, pois permite o fabrico diretamente de modelos digitais 3D (CAD - Computer-Aided Design), não sendo necessário recorrer a ferramentas ou moldes (Gibson et al., 2015). Assim é de considerar a MA como uma tecnologia de produção mais flexível, uma vez que permite, apenas recorrendo a um desenho em CAD, obter uma maior diversidade de resultados e redefinir o projeto de uma forma mais célere, quando comparado com a utilização de tecnologias tradicionais. Por outro lado, esta tecnologia requer muito menos recursos, necessitando apenas, para o fabrico de determinado produto ou peça, matéria-prima, uma máquina de MA, e do respetivo modelo em CAD (Gebhardt, 2003). Também os custos de instalação e de alteração são inferiores quando comparados com as tecnologias tradicionais.

Face ao exposto, é clara a importância da incorporação de tecnologias avançadas no processo produtivo, quando selecionadas corretamente, como forma de alcançar vantagem competitiva no mercado. Contudo, a decisão associada à seleção de determinada tecnologia constitui um grande

desafio para qualquer empresa. Daqui decorre a importância de se proceder à avaliação da tecnologia em momento prévio à sua seleção e incorporação.

Nos últimos anos temos assistido ao incremento na utilização de processos de MA. O crescimento contínuo e resultados otimistas permitem antever que esta tecnologia assumirá um lugar de destaque no futuro da indústria (Buhr & Stehnen, 2018; Drees, 2017; Fernandes & Araújo, 2019; Kagermann et al., 2013; Lee et al., 2014; Melanson, 2018). Importa agora uma aproximação à realidade da indústria da manufatura, em particular associada ao setor MM em Portugal, no sentido de aferir o papel que esta tecnologia tem vindo a assumir nas empresas deste setor, bem como o impacto esperado na competitividade das mesmas.

### **1.3.2 Pergunta de Investigação**

Tal como já anteriormente referido, o presente estudo decorre da importância de se proceder à avaliação da tecnologia em momento prévio à sua seleção e implementação no processo produtivo de uma empresa, o que implica analisar, não apenas, a relação entre a ciência e a tecnologia, mas também a sua relação com a política, a sociedade e os indivíduos, conferindo um contributo crucial para a estratégia de desenvolvimento das empresas.

Uma vez identificados os objetivos deste estudo, bem como o problema sobre o qual o mesmo se centrará, importa definir a pergunta de investigação que norteará o trabalho a desenvolver:

Qual o impacto da MA na competitividade das empresas do setor MM num contexto de alteração do paradigma industrial?

### **1.4 Aderência do Tema ao Programa Doutoral**

Nas próximas subseções proceder-se-á ao enquadramento, contextualização e apresentação da conexão existente entre o tema proposto para a presente investigação e a temática da Avaliação da Tecnologia que norteia o Programa Doutoral em Avaliação de Tecnologia (PDAT). Ainda neste capítulo será enfatizada a contribuição deste estudo para conhecimento da matéria tratada, partindo de uma reflexão aprofundada sobre um tema específico e complementada por uma análise empírica, resultando na identificação e posterior resolução de um problema, único pela sua especificidade.

A originalidade desta investigação prende-se com a realização de um estudo empírico que se diferencia pelo método utilizado ao nível da interpretação da informação e dados recolhidos, permitindo corroborar a importância de um determinado assunto, já conhecido, mas que carece de testemunhos associados a setores tradicionais.

### 1.4.1 Manufatura Aditiva e Avaliação da Tecnologia

O termo Avaliação da Tecnologia (AT) teve a sua origem na década de 60, nos Estados Unidos da América e corresponde à análise das consequências de curto e longo prazo (sociais, económicas, éticas, legais,...) da aplicação de uma determinada tecnologia (Banta, 2022). Por sua vez, o desenvolvimento de metodologias de AT começa a ganhar notoriedade e importância por parte da comunidade académica e empresarial europeia no final dos anos 80 e durante a década de 90.

Para Maloney (1982), quando realizada pelo setor privado, a AT representa uma ferramenta integradora para o planeamento estratégico de uma empresa, permitindo acompanhar e relacionar mercados, produtos e as tecnologias, ditando o seu posicionamento estratégico e competitivo.

De acordo com Tran e Daim (2008), têm sido desenvolvidos, ao longo dos últimos anos, um número crescente de estudos, contribuindo para a produção de conhecimento em torno desta temática. Na sua maioria e no que concerne à literatura sobre gestão, estes estudos apontam para a insuficiente documentação de métodos e ferramentas sobre a AT.

Numa perspetiva mais recente, Coates & Coates (1974) alertam para a existência de uma infinidade de oportunidades no que concerne à expansão e aperfeiçoamento das ferramentas existentes e no desenvolvimento de novas ferramentas de suporte ao processo de AT. Segundo esses autores, são poucas as ferramentas que representam oportunidades disruptivas (mudanças radicais), contudo, cada uma poderá representar uma oportunidade de melhorias no âmbito, na eficácia, na eficiência e nos custos de uma empresa.

A realização de uma AT permite antecipar, identificar e avaliar possíveis impactos associados à introdução de uma nova tecnologia numa organização (Castorena et al., 2013). A introdução de uma nova tecnologia deverá, assim, constituir-se como uma estratégia refletida, avaliada e validada, por forma a analisar previamente a sua viabilidade, o que implica definir os métodos e técnicas a aplicar.

Segundo Porter *et al.* (2004), os métodos e técnicas aplicáveis à AT podem ser classificados como *hard* (quantitativos, numéricos), ou *soft* (qualitativos, baseados em julgamentos ou refletindo conhecimentos tácitos), divergindo entre si nas abordagens e em relação às competências exigidas para sua realização. Analisando e comparando os métodos apresentados por Porter *et al.* (2004), é possível concluir que se por um lado os métodos quantitativos necessitam de uma sequência histórica credível, os métodos qualitativos apresentam algumas limitações, relacionadas com o conhecimento adquirido que pode ser insuficiente, ou mesmo relacionadas com as experiências e vivências do investigador, que podem influenciar a análise e conclusões. Importa, assim, combinar ambos os métodos, complementando o conhecimento explícito com o conhecimento tácito.

Ao longo das últimas décadas têm surgido vários estudos com a identificação de diferentes metodologias e ferramentas de AT (Boavida, 2017; Boavida et al., 2013; Boavida & Moniz, 2015; Böhle & Moniz, 2015; Castorena et al., 2013; J. F. Coates, 1974; Delvenne & Roskamp, 2021; Ely et al., 2014; Jones, 1971; Joung & Kim, 2017; Maia, 2016; Moniz, 2018a; Peliz et al., 2021; A. L. Porter et al., 2004; Rattner, 1979; Weinberger et al., 2016). Na presente investigação, o método selecionado resultou de uma combinação de várias metodologias já identificadas e analisadas por diversos autores, tendo tido em consideração não apenas o objeto de estudo que fora previamente definido, bem com a questão que norteia a presente investigação, consubstanciando-se assim numa proposta de uma sequência de etapas que permitirão alcançar algumas conclusões relativamente à tecnologia em estudo, auxiliando na tomada de decisão por parte das empresas que tencionem introduzir esta tecnologia no seu processo produtivo, como forma de alcançar níveis de competitividade acrescidos para os seus produtos e/ou serviços.

No mundo contemporâneo, a tecnologia destaca-se como um elemento essencial para a sociedade. Muitas das conquistas mais icónicas da sociedade moderna estão associadas à evolução registada na tecnologia (Johnson & Wetmore, 2021). Por sua vez, é cada vez mais clara a predominância de uma cultura global dominada pela tecnologia (Vanderburg, 2005). No contexto industrial, a tecnologia surge como o principal motor da sua atividade, pelo que qualquer tomada de decisão relativa à introdução de uma nova tecnologia origina, inevitavelmente, impactos significativos ao nível da sua produtividade, eficiência e, conseqüentemente, na sua competitividade (Ribeiro, 2004).

Uma das tecnologias que tem alcançado grande notoriedade, desde o final dos anos 80, é a tecnologia de MA. Esta tecnologia constitui o elemento-chave deste estudo, o qual visa a análise das suas implicações na competitividade das empresas do setor MM, num contexto marcado por uma mudança no paradigma industrial. De uma forma geral, esta investigação constituir-se-á como um contributo adicional para a avaliação desta tecnologia, considerando um determinado contexto, determinados pressupostos e determinada metodologia.

Ao nível da metodologia definida para esta investigação, de acordo com o referido anteriormente, a mesma será edificada de acordo com as seguintes etapas:

1. Identificação e definição dos termos-chave
2. Contextualização e identificação dos principais critérios associados à competitividade da indústria do setor metalúrgico e metalomecânico (pesquisa e revisão bibliográfica considerando os termos-chave previamente identificados, utilizando diferentes bases de dados bibliográficas)
3. Estudo empírico
4. Sistematização e análise dos dados e informação recolhidos (principais resultados)
5. Conclusões

Os resultados e conclusões deste estudo permitirão, assim, auxiliar a tomada de decisão das empresas quando confrontadas com a possibilidade ou intenção de introduzir no seu processo de produção uma tecnologia MA.

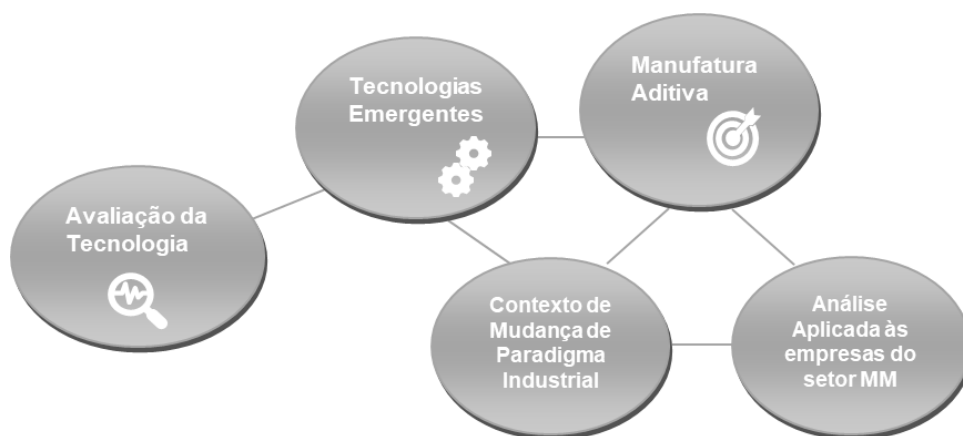
### 1.4.2 Novidade e Contribuição Teórica

A originalidade desta investigação prende-se com a realização de um estudo empírico que se diferencia pelo método utilizado ao nível da interpretação da informação e dados recolhidos, permitindo corroborar a importância de um determinado assunto, já conhecido, mas que carece de testemunhos associados a setores tradicionais. Após consulta de uma lista variada de bases de dados bibliográficas, constatou-se que o número de estudos que abordam a problemática aqui investigada é pouco expressivo (identificados no capítulo 7.2), o que justificou a seleção do cenário para a aplicação do presente estudo: indústrias do setor MM, que já introduziram esta tecnologia no seu processo produtivo ou que pretendem fazê-lo no curto-prazo, ou seja, que detêm um conhecimento alargado relativamente à tecnologia objeto deste estudo. Esta característica (introdução da tecnologia no processo produtivo) já permite, por si só, evidenciar a importância reconhecida pelas empresas.

Por fim, existe ao longo deste trabalho, um forte desafio de enriquecimento e contribuição teórica sobre temas atualmente emergentes, refletidos quer em ambientes empresariais, quer académicos.

A Figura 1.2 apresenta os temas que permeiam os principais aspetos considerados no âmbito deste estudo.

**Figura 1.2 – Novidade e Contribuição Teórica da Tese**



Fonte: Elaboração própria

### **1.4.3 Principais fases de investigação**

Uma vez definida a metodologia a seguir para a avaliação da tecnologia que integra o principal objeto deste estudo (Ponto 1.4.1), segue-se a identificação das principais fases que edificam a presente investigação, designadamente:

#### **Fase 1 – Identificação e definição dos termos-chave**

A primeira fase compreende a identificação e definição dos termos-chave, ou seja, identificar e definir quais palavras ou expressões relacionadas com a tecnologia em questão, tendo em consideração o conhecimento já existente sobre a mesma.

#### **Fase 2 - Revisão Bibliográfica**

Numa segunda fase procede-se à identificação das bases de dados bibliográficas a utilizar (as mais comumente utilizadas e as mais relevantes tendo em consideração o campo tecnológico em análise), inserindo os termos-chave definidos na primeira fase e procedendo à pesquisa de publicações (artigos, teses, livros, ...) que incorporem esses mesmos termos.

Após sistematizar, categorizar e catalogar as publicações recolhidas, identificam-se aquelas que surgem com maior frequência, aquelas que apresentam um maior número de citações, aquelas que resultaram de reflexões de determinados autores com reconhecimento na área tecnológica em estudo, seguindo-se a leitura e recolha da informação e dados necessário para o estudo.

Esta etapa permitirá, assim, apresentar o referencial teórico desta investigação: os trabalhos desenvolvidos no âmbito desta fase permitirão sistematizar a informação recolhida relativa à tecnologia em análise (estado da arte da tecnologia, sua evolução e impacto na comunidade empresarial), bem como, identificar as principais características associadas à indústria do setor MM, num momento caracterizado por mudanças disruptivas, identificando ainda os principais fatores e critérios associados à competitividade destas empresas, por forma a, numa fase final, conjugar todos os elementos recolhidos, identificar os pontos de interseção e assim mapear o papel que esta tecnologia pode assumir ao nível da competitividade destas empresas.

#### **Fase 3 - Estudo Empírico**

Esta fase compreende a construção e aplicação de um questionário, consubstanciando-se no instrumento de recolha dos dados necessários para a investigação.

A partir da revisão de literatura foi possível compreender a crescente evolução que esta tecnologia tem registado nos últimos anos, bem como analisar alguns testemunhos de grandes empresas internacionais que já procedera á sua introdução no processo produtivo, o que auxiliou na edificação

do questionário e seleção da população/universo estatístico, estando assim alinhado com o objetivo da presente investigação.

Ainda neste âmbito importa referir que investigação desenvolvida se insere, do ponto de vista global, numa estratégia metodológica de tipo misto, uma vez que se optou por combinar técnicas de análise de dados de tipo quantitativo (recolha e análise de informação em extensividade) e de tipo qualitativo (observação das informações obtidas por via das respostas ao questionário).

As técnicas de tratamento da informação recolhida através de questionário correspondem, essencialmente, à estatística descritiva, auxiliando na organização e sistematização dos mesmos. Por sua vez, para permitir uma leitura dos dados obtidos, os mesmos são apresentados através de gráficos de barras e gráficos circulares. Os gráficos mostram os resultados em pontos percentuais face à amostra em estudo.

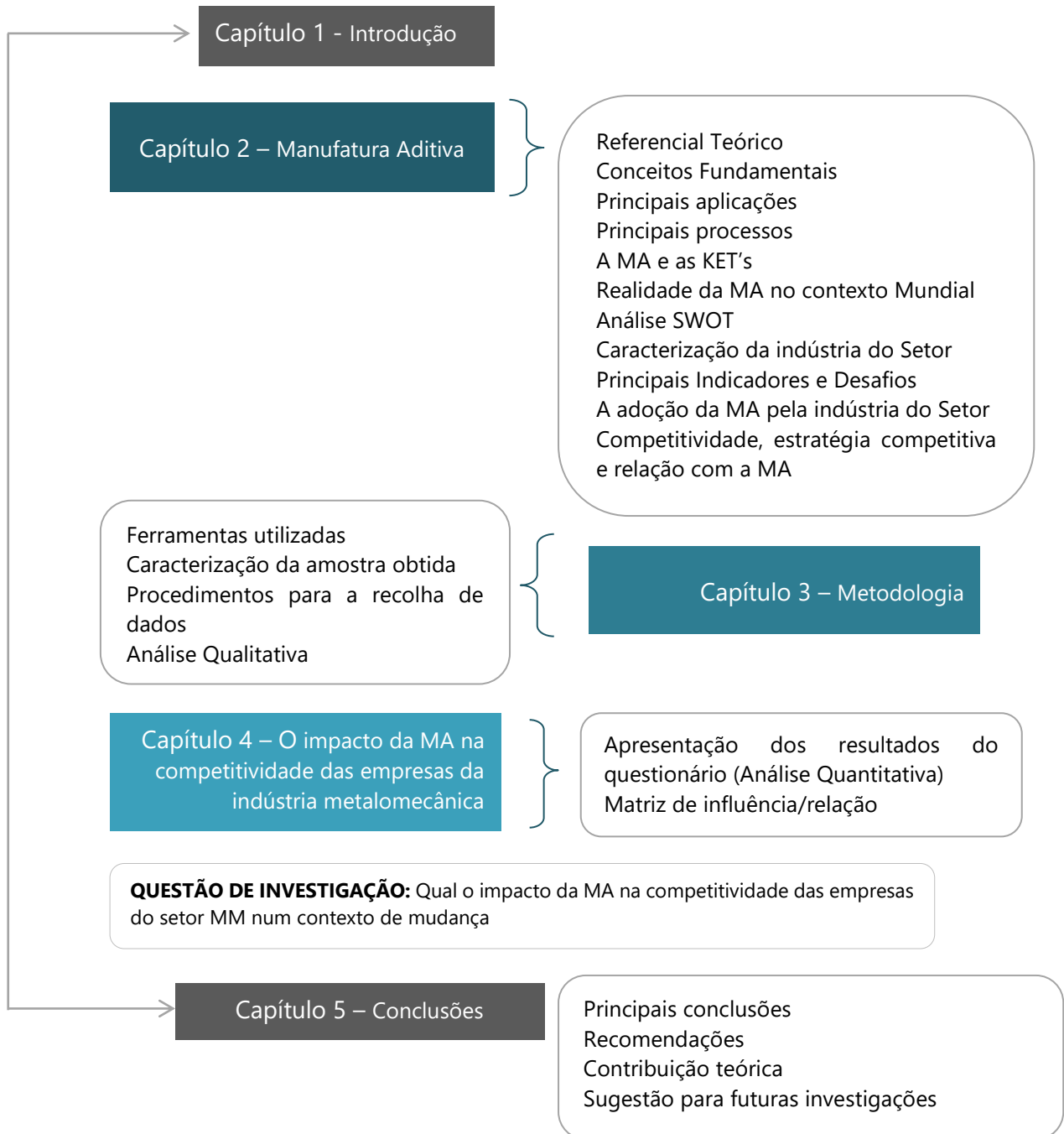
A partir desta análise aprofundada foi possível identificar padrões e irregularidades, bem como conclusões interessantes do ponto de vista da adoção deste modelo de produção pelas empresas. No final da presente investigação serão, ainda, apresentadas algumas recomendações sobre a adoção desta tecnologia.

#### **Fase 5 - Conclusões e resultados**

Esta fase será marcada pela resposta à questão de investigação que foi previamente definida.

A Figura 1.3 apresenta a arquitetura na qual se edifica a presente investigação, com a identificação dos capítulos e sua relação.

Figura 1.3 - Esquema da Estrutura do Trabalho



Fonte: Elaboração própria

Cada capítulo está estruturado por forma a dar suporte ao tema principal do presente estudo, bem como fornecer dados complementares para a resposta à pergunta de investigação.

Assim sendo, os assuntos abordados em cada um dos capítulos auxiliam no entendimento da pergunta que permeia a investigação.

Em seguida descrevemos os conteúdos de cada capítulo da dissertação e o modo como a mesma se desenvolve:

**Neste Capítulo 1**, introdutório, pretendeu-se apresentar o problema de investigação e os objetivos do estudo, a sua contextualização na temática do Programa Doutoral em que se insere e os métodos utilizados para responder aos objetivos.

Uma vez apresentadas as informações introdutórias do estudo, **o Capítulo 2** visa apresentar os principais conceitos associados, principais aplicações e processos da tecnologia em causa, permitindo ainda fazer uma contextualização ao nível mundial do assunto objeto da investigação. Ainda no Capítulo 2 procede-se à apresentação e contextualização do objeto de estudo, incluindo os aspetos políticos, económicos, estratégicos e normativos, seguindo-se a apresentação dos principais desafios e oportunidades associados a esta tecnologia tendo como base uma análise SWOT. Uma vez identificado previamente o foco principal deste estudo (Indústria do Setor MM) procede-se à identificação dos principais aspetos que estão na base da sua caracterização. As reflexões apresentadas neste capítulo são de extrema importância para o enquadramento dos assuntos a abordar nos capítulos seguintes.

No **Capítulo 3** é apresentada a metodologia utilizada na aplicação da análise empírica, justificando as escolhas realizadas.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados do estudo empírico e as principais reflexões obtidas após a análise dos dados recolhidos com base na aplicação do questionário.

Por fim, o **Capítulo 5** apresenta as conclusões do estudo dividindo-se numa síntese dos principais resultados obtidos pela análise exposta no Capítulo 4 e nas respostas às perguntas de investigação, na apresentação das insuficiências do estudo e na proposta de investigações futuras e recomendações.

## **CAPÍTULO 2 - MANUFATURA ADITIVA**

O presente Capítulo apresenta um enquadramento teórico que se inicia com uma breve contextualização da tecnologia em análise (Manufatura Aditiva), constituindo o tema-chave em torno do qual o presente estudo se irá desenvolver, seguindo-se a apresentação das suas principais aplicações e processos, bem como a relação que existe entre esta tecnologia e as *Key Enabling Technologies (KET's)*, identificadas pela Comissão Europeia (European Commission, 2020b), como de importância chave para a competitividade e sustentabilidade dos vários setores industriais, constituindo a base para a inovação e transição digital.

Segue-se uma síntese relativamente aos aspetos mais importantes que caracterizam o cenário global associado à tecnologia de MA. Esta análise é relevante no sentido de permitir uma visão abrangente das implicações existentes no processo de desenvolvimento deste conceito além-fronteiras.

Por sua vez, este capítulo visa ainda abordar diferentes aspetos associados a esta tecnologia, sejam eles políticos, económicos, estratégicos e normativos.

São ainda identificados os principais aspetos que permitem caracterizar a comunidade industrial que constitui o foco principal deste estudo (Indústria do Setor MM), permitindo perceber o que motivou esta opção e qual a relação com a tecnologia em análise.

Este Capítulo termina com a análise da relação entre competitividade, estratégia competitiva e a tecnologia MA.

### **2.1 Contextualização**

Numa procura incessante por vantagens económicas e competitivas, as empresas e governos investem em processos de I&D com o intuito de criar novas tecnologias que permitam obter ganhos de eficiência nos seus processos, aumentando a sua produtividade e gerando produtos e/ou serviços diferenciadores. Nos últimos anos temos assistido à proliferação das tecnologias digitais, as quais têm revolucionado as relações de trabalho, as relações com os clientes, a produtividade, os custos, os modelos de negócio e a própria organização dos mercados.

Num cenário marcado por um novo paradigma industrial (indústria 4.0), onde imperam as tecnologias digitais, é possível categorizar as mesmas em quatro grupos principais (Hermann et al., 2016): Sistemas Ciber-Físicos (CPS); Internet das Coisas (IoT); Internet dos Serviços (IoS); e Fábrica Inteligente. Podemos ainda identificar outras tecnologias que se têm destacado, que apesar de não decorrerem exclusivamente do novo cenário industrial, uma vez que resultaram de investigação

realizada em momentos anteriores, são também consideradas como facilitadoras da indústria 4.0, como por exemplo, os produtos inteligentes, a comunicação *Machine to Machine* (M2M), *big data* e a computação em nuvem. Face ao exposto, os principais conceitos que permitem caracterizar este novo cenário industrial são: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade de adaptação em tempo real, orientação de serviço e modularidade (Hermann et al., 2016).

Concentrando a análise na indústria da manufatura, o estudo "*Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovation*" (de Weck & Reed, 2014), identifica as 24 áreas tecnológicas mais importantes e promissoras para a manufatura nos próximos anos. Este estudo teve como base: um conjunto de entrevistas realizadas a investigadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), entre julho de 2011 e agosto de 2012; a recolha de informação recorrendo a 85 programas de engenharia industrial e de manufatura; 200 entrevistas a empresas, realizadas no âmbito do projeto *Production in the Innovation Economy* (PIE). Os dados e informação recolhidos permitiu o desenvolvimento de um conceito amplo de manufatura avançada, bem como a classificação das tecnologias associadas em sete categorias distintas: (1) nano-engenharia de materiais e superfícies ("eletrônica impressa", "materiais leves", "revestimentos de substratos", "materiais compósitos" e "meta materiais"); (2) manufatura aditiva e de precisão ("prototipagem rápida" e "manufatura de precisão"); (3) robótica e automação adaptativa ("manufatura de simulação", "manufatura flexível", "robótica", "metrologia avançada", "automação inteligente", "TI para manufatura" e "sensorização avançada"); (4) eletrónica de próxima geração ("eletrônica flexível", "eletrônica ótica e fotónica" e "semicondutores"); (5) fabricação contínua de produtos farmacêuticos e biomanufatura ("manufatura médico-farmacêutica" e "genoma de materiais"); (6) design e gestão de cadeias de abastecimento ("supply chain e logística" e "controle de processos"); (7) manufatura sustentável ("eficiência energética", "manufatura com reciclados" e "produção de biocombustíveis").

As categorias e tecnologias elencadas permitem constatar a criação de um novo padrão de eficiência, com base em novos materiais, que alteram a composição dos custos de produção, assistindo-se ainda a uma maior capacidade de monitorização e controlo dos métodos e processos de produção, distribuição, e acompanhamento pós-venda, maior flexibilidade na escala e âmbito da produção, permitindo a criação de novos produtos e novos mercados. Por sua vez, a capacitação do processo de produção e comercialização recorrendo ao aumento da automação e incorporação de tecnologias avançadas exige mão de obra especializada, com competências adequadas à nova era digital.

Também alguns dos estudos da OCDE (OECD, 2015, 2017) permitem identificar as tecnologias-chave para a transformação digital na indústria (tecnologias emergentes). De acordo com a análise de Christian Reimsbach-Kounatze (OECD, 2017), as tecnologias de *big data*, computação em nuvem e internet das coisas (IoT), destacam-se como facilitadoras da customização, da emergência de novos processos produtivos e organizacionais, bem como de novos modelos de negócio. Estas tecnologias

permitem a recolha de dados, os quais são posteriormente estudados, tratados e interpretados, permitindo analisar e monitorizar a eficiência de processos, produtos e serviços. Neste contexto, ou seja, num segundo nível, destacam-se as tecnologias de simulação, inteligência artificial e integração de sistemas. Por sua vez, estas interações confluem em determinadas aplicações: manufatura aditiva, máquinas e sistemas autónomos, interação homem-máquina.

O presente estudo centrar-se-á numa destas aplicações, cuja tecnologia associada já não representa uma novidade (Tecnologia de Manufatura Aditiva), no entanto, a mesma tem registado uma evolução significativa nos últimos anos, associada à crescente transformação da indústria no seu caminho rumo ao digital (Fernandes & Araújo, 2019).

## 2.2 Conceitos Fundamentais

### 2.2.1 Tecnologias Emergentes

A história da tecnologia está estreitamente ligada com a história da humanidade, sendo por este motivo complexa e com inúmeras ramificações. Por sua vez, após uma breve revisão histórica do termo "Tecnologia", constata-se que o mesmo surge na literatura com diferentes conotações e diferentes formas de interpretação, sendo claro o esforço dos vários autores em apresentar uma clarificação concetual (Arthur, 2009; Borgmann, 2006; Foray & Griibler, 1996; Freeman, 1996; Gagné, 1987; Kline, 1985; Sandler, 2014; Valdés et al., 2002; Wise, 1985)

Ao nível etimológico, a palavra tecnologia, de origem grega, provém da junção do termo τέχνη, "ofício" e λογία, "estudo", correspondendo, assim, ao conhecimento técnico e científico e às ferramentas, processos e materiais criados e/ou utilizados a partir de tal conhecimento.

MacKenzie e Wajcman (MacKenzie & Wajcman, 1985) definem tecnologia como a integração entre os objetos físicos ou artefactos, o processo de fazer estes objetos, bem como o significado associado aos mesmos. Na definição do termo tecnologia, todos estes elementos devem ser entendidos como estando interligados, sendo que qualquer alteração num destes elementos terá implicações nos restantes.

De acordo com Kumar *et. al* (1999), a tecnologia compreende dois componentes principais: 1) um componente físico que inclui *itens* como produtos, ferramentas, equipamentos, projetos, técnicas e processos; e 2) um componente informativo que corresponde ao *know-how* em gestão, marketing, produção, controle de qualidade, confiabilidade, mão de obra qualificada e áreas funcionais.

Consultando a definição que consta na Infopédia (Dicionários Porto Editora), a tecnologia consiste no "conjunto dos instrumentos, métodos e processos específicos de qualquer arte, ofício ou técnica". Pode

ser entendida ainda como o “estudo sistemático dos procedimentos e equipamentos técnicos necessários para a transformação das matérias-primas em produto industrial”.

São vários os estudos que apresentam definições para este termo; são vários os autores que procuram sistematizar e nortear esta temática, contudo, a tecnologia é muito mais do que a simples aplicação de conceitos e teorias científicas, sendo indiscutível o seu papel na economia e na sociedade, criando novos padrões, novas rotas de conhecimento, investigação e desenvolvimento.

No que concerne à palavra “emergente”, ao nível etimológico a mesma tem origem no termo latino “emergens”, o qual pode assumir vários significados, dependendo do contexto: em Física é emergente o que sai de um meio depois de o ter atravessado, como por exemplo, raios emergentes; é comum chamar a economias com crescimentos elevados de países em desenvolvimento economias emergentes; é também emergente algo ou alguém que ascende socialmente; ou ainda o que resulta ou é consequência de algo.

Assim, as tecnologias emergentes constituem inovações com base científica, com potencial para criar um novo “sector” ou de transformar um já existente. Compreendem tecnologias descontínuas decorrentes de inovações radicais, ou tecnologias mais evolutivas formadas pela convergência de correntes de pesquisa. Cada uma destas tecnologias proporciona novas oportunidades de mercado, constituindo, assim, um incentivo ao investimento.

No atual contexto socioeconómico, marcado pela evolução e adaptação das empresas a uma cultura digital, registam-se várias tecnologias emergentes que merecem destaque. Segue identificação de algumas destas tecnologias (Buhr & Stehnen, 2018; Drees, 2017; Kagermann et al., 2013; Lee et al., 2014; Melanson, 2018):

*Data Analytics*: consiste na combinação das tecnologias de *Big Data* (armazenamento de grandes quantidades de dados) e *Data Mining* (algoritmos que permitem extrair padrões e comportamentos) resultando na tecnologia conhecida como *Analytics*. Esta tecnologia permite analisar grandes quantidades de dados em tempo real.

*3D Printing*: A impressão 3D, também conhecida por “manufatura aditiva” envolve a fabricação de produtos através do uso de impressoras que permitem a construção de produtos pelo método de adição de materiais camada sobre camada. Já é utilizada para impressão de implantes médicos, joalheria, vestuário customizável, peças de automóveis, peças protótipos, entre outros.

*Internet of Things (IoT)*: A Internet das Coisas (IoT) corresponde a uma rede de objetos físicos que detetam e recolhem dados, interagindo e comunicando autonomamente. Na produção, as redes de sensores conectadas permitem monitorizar movimentos de máquinas e logística auxiliando as empresas na redução de custos por via do desenvolvimento de operações mais eficientes.

*Cloud Computing* (Computação em Nuvem): A computação em nuvem permite a colaboração em tempo real.

*Artificial Intelligence* (AI): Inteligência artificial corresponde a algoritmos computacionais capazes de imitar, aprender e substituir a inteligência humana. Visam a melhoria dos processos de tomada de decisão, e o conseqüente aumento da produtividade, permitindo reconhecer e compreender padrões de negócios, pesquisar informações e analisar dados de forma inteligente.

*Cyber Physical Systems* (CPS): Um CPS consiste num sistema constituído por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas. Pode ser considerado como a evolução dos atuais sistemas. São baseados em algoritmos de inteligência artificial que enfatizam o papel das ligações entre os elementos computacionais e elementos físicos. Requerem integração de máquinas, aplicativos, softwares, sistemas e infraestrutura aliados a interação homem-máquina (HMI - *Human Machine Interface*).

*Robotics*: Muitas das tarefas vitais, realizadas numa qualquer empresa, caracterizam-se pela sua simplicidade e monotonia. O movimento de produtos de uma área de um armazém para outro, por exemplo, corresponde a uma tarefa necessária, mas não constitui a essência do trabalho, requerendo pouca habilidade e não estimulando mentalmente os colaboradores. Por sua vez, gera um alto custo de mão-de-obra e, geralmente, um alto *turnover* de pessoal. Deste modo, a automação deste tipo de tarefas constitui uma medida estratégica para aumentar a eficiência e a produtividade de qualquer empresa.

*Autonomus Vehicles*: Veículos autónomos (também denominados de veículos robóticos ou veículos não tripulados) são veículos capazes de detetar o ambiente ao seu redor e navegar sem intervenção humana. Sistemas de controle avançados (como radar, luz laser, GPS e visão computadorizada) interpretam informações sensoriais para identificar caminhos de navegação apropriados, bem como obstáculos e sinalização relevante.

*Drones*: Um drone, num contexto tecnológico, consiste num avião não tripulado. Os drones são formalmente conhecidos como veículos aéreos não tripulados (UAVs). Essencialmente, um drone é um robô voador. As aeronaves podem ser controladas remotamente ou podem voar de forma autónoma através de planos de voo controlados por inteligência artificial.

*Biometrics*: A biometria é utilizada para reconhecer pessoas com base nas suas características físicas. A identificação biométrica aumenta o nível de proteção de sistemas computadorizados, instalações físicas, fronteiras, entre outros, autorizando ou não a passagem de usuários e assim diminuindo o risco de fraude.

Numa era marcada pela conexão e transformação, o principal desígnio associado aos avanços tecnológicos emergentes prende-se, sobretudo, com o aumento do desempenho industrial, permitindo experiências de imersão, incorporação de máquinas inteligentes, desenvolvimento e acesso a ecossistemas dinâmicos, com vista a alcançar um desenvolvimento sustentável e níveis de produtividade e competitividade acrescidos. A adaptação do processo produtivo, transformando-o num mecanismo inteligente, permite que as máquinas e outros dispositivos comuniquem, em tempo real, entre si e com outros elementos da cadeia de valor, facilitando uma adaptação ágil a diferentes cenários (Chen, 2017). Contudo, a seleção e incorporação de novas tecnologias, apesar de estratégico, é um processo que necessita de uma prévia análise e validação, implicando pesquisa, conhecimento e, conseqüentemente, custos adicionais para a empresa. A presente investigação constituirá, assim, uma ferramenta adicional para as empresas que ponderem a introdução de tecnologias emergentes.

Apesar ter surgido há cerca de 30 anos, registando uma evolução significativa desde então, a tecnologia MA mantém o estatuto de tecnologia emergente, uma vez que ainda não se encontra totalmente consolidada, prevendo-se que os próximos anos sejam marcados por novas aspirações tecnológicas, no sentido de responder aos desafios entretanto criados, como por exemplo a introdução de uma tecnologia híbrida, que combina a MA com a Manufatura Subtrativa, bem como a combinação com as outras tecnologia emergentes supra identificadas (Alairys et al., 2018), as quais constituem a base da chamada 4ª Revolução Industrial (i4.0), com impacto na atividade industrial por meio dessa convergência.

Klaus Schwab, fundador do Fórum Económico Mundial, responsável pelo desenvolvimento do conceito Indústria 4.0, refere-se ao uso combinado de tecnologias emergentes como *Big Data & Analytics*, Inteligência Artificial, *Internet of Things*, *Cloud Computing*, Integração de Sistemas, Simulação, Realidade Virtual e Aumentada, Manufatura Aditiva, Robótica e Cibersegurança, como a próxima grande revolução (Schwab, 2017).

Neste contexto e no âmbito do presente estudo, pretende-se assim analisar o potencial e impacto desta tecnologia (MA), centrando a atenção na competitividade da indústria do setor MM.

### **2.2.2 Manufatura Aditiva**

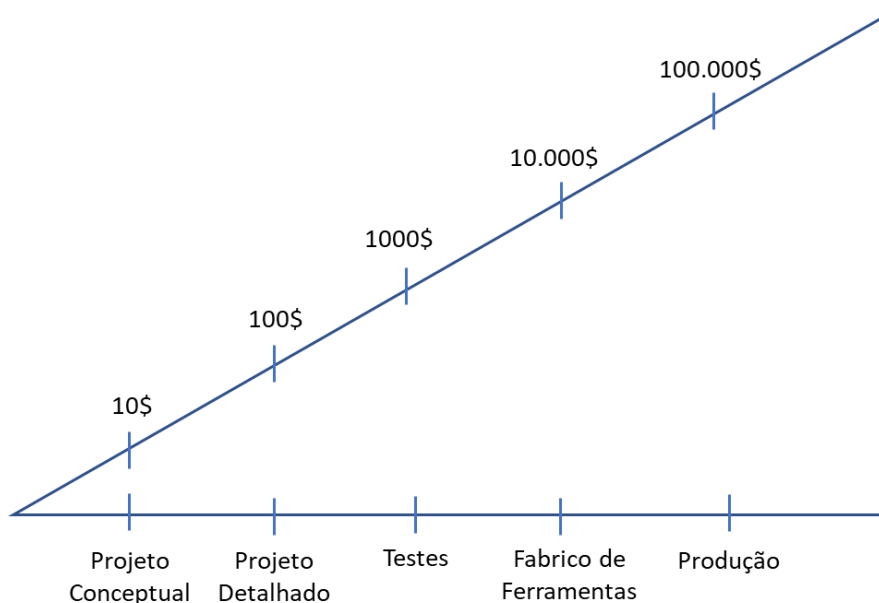
Nas últimas décadas, a indústria da manufatura tem assistido a uma evolução exponencial da tecnologia, que se tem traduzido em profundas transformações ao nível dos processos, produtos e serviços comercializados.

Por sua vez, estando perante um novo cenário, marcado por uma cultura digital, as empresas enfrentam novos desafios que exigem tempos de resposta mais céleres. As técnicas tradicionais de manufatura, principalmente em fase de projeto, são lentas e exigem investimentos avultados. A utilização da

tecnologia de MA vem potenciar a redução destes fatores, uma vez que permite a produção diretamente de modelos digitais 3D (CAD), não sendo necessário recorrer a ferramentas ou moldes (Gibson et al., 2015).

A tecnologia MA surgiu no final dos anos 80, em resposta à crescente necessidade da indústria em reduzir custos no processo de desenvolvimento do produto, uma vez que qualquer alteração no design ou na funcionalidade de um produto, quando o mesmo já se encontra nas fases de produção e comercialização, implica custos muito superiores face a uma qualquer alteração na fase de protótipo (T. Wohlers, 2008).

**Figura 2.1 – Evolução do Custo ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto**



Fonte: Adaptado de The Wohlers Report 2008 (T. Wohlers, 2008)

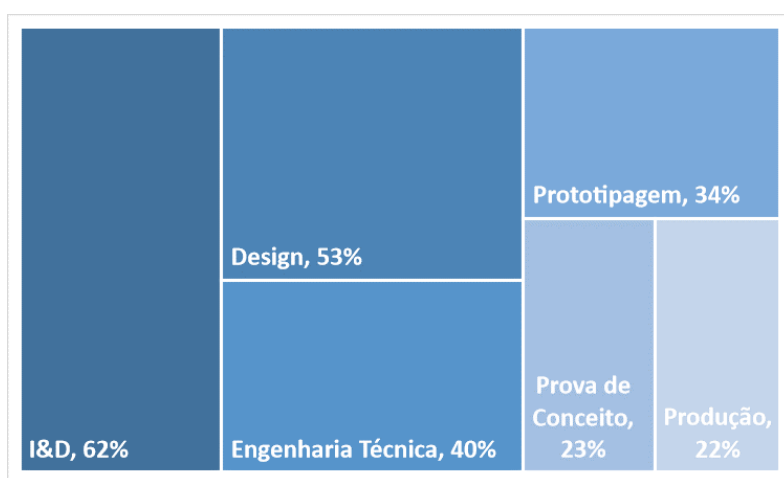
De 2014 até aos nossos dias, com o fim da patente, os preços caíram e a tecnologia tornou-se mais acessível.

Os primeiros equipamentos de MA correspondiam a máquinas de prototipagem rápida (*rapid prototyping*). O termo prototipagem rápida provém de uma das finalidades dessas máquinas: produzir protótipos tridimensionais de produtos de uma forma rápida e generalizada (Campbell et al., 2012). Atualmente, estes equipamentos não se limitam à produção de protótipos, marcando também presença

na fase final do fabrico de produtos, tendo-se ainda registado um aumento da diversidade de materiais (incluindo não apenas plásticos, como também cerâmicas, ligas e pós metálicos) e processos utilizados.

No Relatório global de impressão 3D da Ernst & Young, de 2016 (Ernst & Young, 2016), 84% das empresas analisadas utilizam tecnologia MA para o desenvolvimento de produtos, contudo, a percentagem de utilização nas etapas de produção tem registado um aumento significativo nos últimos anos (Figura 2.2).

**Figura 2.2 – Percentagem da utilização da tecnologia MA nas várias fases de desenvolvimento do produto**

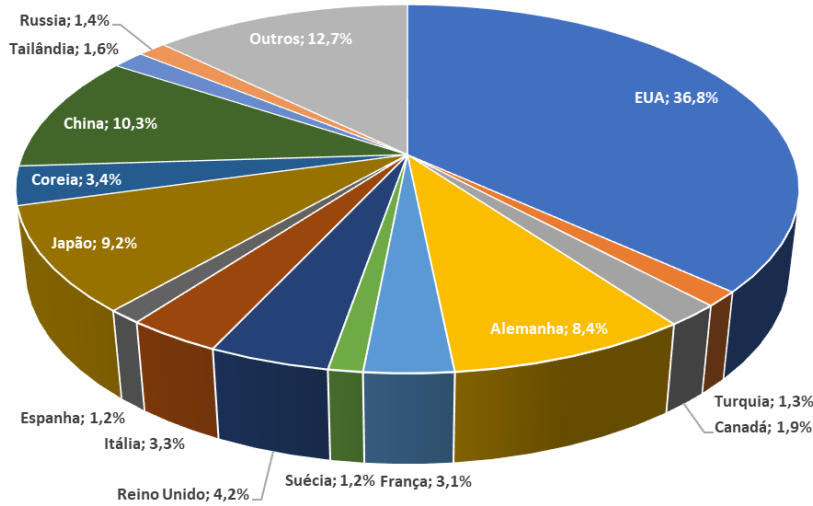


Fonte: Elaboração própria, a partir de Centro de Inovação da Ernst & Young (Ernst & Young, 2016)

Passados 30 anos desde que esta tecnologia deu os primeiros passos, opiniões divergem sobre quem foi o seu “criador”. Há quem defenda que foi o Japonês Hideo Kodama, investigador do Instituto de Pesquisas Industriais da Cidade de Nagoya, em 1981, outros defendem que foi Chuck Hull (Hickey, 2014), um norte-americano do estado da Califórnia, em 1984, que utilizou a estereolitografia, tecnologia precursora da impressão 3D. De acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), a MA consiste no processo de unir materiais para produzir objetos a partir de dados de um modelo 3D, geralmente camada sobre camada, em oposição às tecnologias de manufatura subtrativas (International, 2012).

Um dos principais indicadores utilizados para analisar, acompanhar e comparar a evolução desta tecnologia corresponde ao número de indústrias que utilizam a tecnologia MA, por país. Conforme ilustrado no gráfico seguinte (Gráfico 2.1), os EUA lideram esta classificação por país. China, Japão, Alemanha e Reino Unido têm o segundo, terceiro, quarto e quinto lugares, respetivamente.

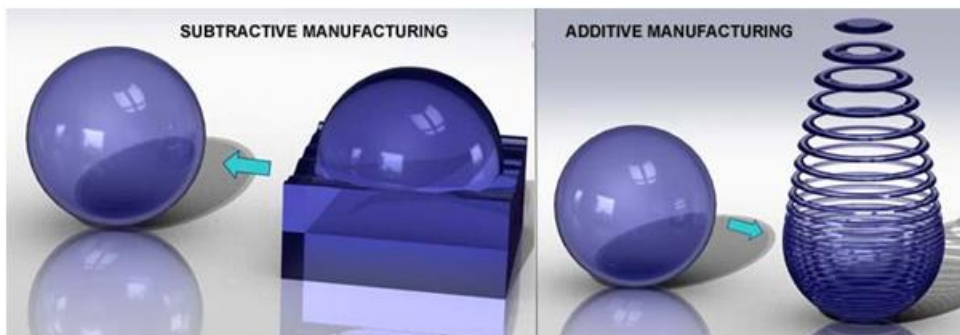
Gráfico 2.1 - Percentagem de indústrias que utilizam a MA por país



Fonte: Adaptado de The Wohlers Report 2008 (T. Wohlers, 2008)

As tecnologias associadas à MA e à Manufatura Subtrativa correspondem a processos de produção digital, uma vez que para o desenho do produto são utilizadas coordenadas de um projeto 3D digital ou um software de CAD/CAM, permitindo dar instruções ao equipamento para a produção de um determinado objeto. Segue-se então o processo de produção, que no caso de se utilizar um equipamento de Manufatura Subtrativa consistirá na remoção parcial de material de um bloco maciço, até se chegar ao objeto final. Por sua vez, caso esteja em causa um equipamento de MA, o processo consiste em adicionar material, camada por camada, para se chegar ao produto final (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Manufatura Subtrativa VS Manufatura Aditiva



Fonte: (LWt Sistemas, 2016)

A tabela seguinte (Tabela 2.1) permite apresentar as principais características e potencialidades de cada um destes métodos de produção:

**Tabela 2.1 – Características e Potencialidades da Manufatura Subtrativa e Manufatura Aditiva**

<b>Método</b>	<b>Manufatura Subtrativa</b>	<b>Manufatura Aditiva</b>
<b>Características &amp; Potencialidades</b>		
Liberdade Geométrica	★★	★★★★★
Nível de Personalização	★★★★	★★★★★
Resistência das Peças	★★★★★	★★★
Requer Mão de Obra Qualificada	★★★★★	★★
Desperdícios/Resíduos Gerados	★★★★★	★
Riscos de Operação	★★★★	★
Set-up para Operação	★★★★	★
Espaço necessário	★★★★	★
Custo por peça	★★★★	★

Fonte: Elaboração própria

Resumidamente, a MA é geralmente utilizada para produzir peças com geometrias complexas, e afigura-se como a tecnologia ideal para a produção de protótipos rápidos, artigos personalizados e produção de pequenos lotes, uma vez que não exige um *set-up* específico para a produção de peças diferentes. Já a Manufatura Subtrativa é utilizada para a produção de peças mais resistentes, utilizando, sobretudo, como matéria-prima o metal; apesar de apresentar custos e tempo de produção superiores, é também utilizada na produção de protótipos.

A MA abrange uma ampla gama de tecnologias, cada uma delas uma combinação específica de material de impressão e impressora. Quando estão em causa, por exemplo, materiais termoplásticos estes só podem ser aplicados em equipamentos com fontes de calor para derreter e extrudar os plásticos. Por sua vez, os materiais líquidos endurecidos por luz ultravioleta (UV) só podem ser utilizados em equipamentos com fontes de luz UV. Alguns sistemas revelam-se mais flexíveis do que outros. Os modelos impressos em 3D são desenvolvidos utilizando um *software* específico de design (CAD) e/ou scanners 3D para criar ficheiros de modelo 3D digital. Esses ficheiros CAD são carregados no software do driver da impressora que procede à execução da impressão.

Alguns softwares são específicos para uma determinada impressora ou família de impressoras, como acontece com os equipamentos dos fabricantes Stratasys e Renishaw, existindo ainda softwares de aplicação “universal”, como é o caso do Ultimaker Cura (Ultimaker, 2016) ou Microsoft Standard Driver

(Microsoft, 2020). Os processos de impressão podem variar consoante o que podem produzir; nem todas as impressoras podem produzir todos os tipos de peças.

Muitos sistemas imprimem material de suporte, além do material de modelagem real, tendo como objetivo evitar que as peças entrem em colapso ou deformem durante a produção. Muitas impressões requerem suporte adicional, dependendo da geometria da peça e do processo de impressão. O material de suporte pode ou não ser igual ao material da peça a produzir, existindo vários meios de remoção de suportes, dependendo do processo.

Seguem alguns dos principais conceitos a ter em consideração neste âmbito:

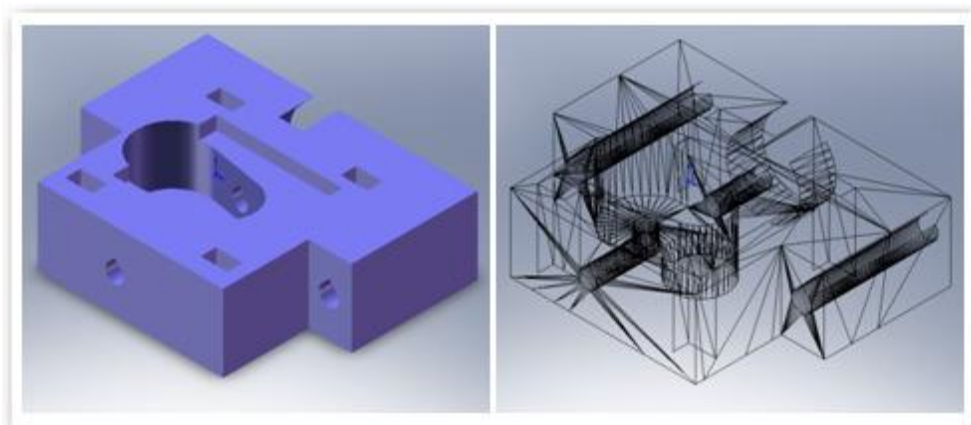
- CAD (Computer-aided design): qualquer peça que seja produzida por MA deve ter a sua geometria definida por um modelo numérico (*software*), podendo utilizar-se um qualquer software profissional de CAD ou *software* e equipamentos de engenharia reversa (*reverse engineering*), como *scanners*.
- Conversão para STL: o formato aceite em praticamente todos os equipamentos de MA é o STL (*surface tessellation language*), tratando-se do padrão da indústria no momento.
- Transferência para a máquina de MA e manipulação do arquivo: o arquivo que representa a peça deve ser transferido para o equipamento no qual será produzida. Podem, eventualmente, serem necessárias manipulações para corrigir o posicionamento, tamanho ou orientação da peça no arquivo.
- Configurar a máquina: pode ser necessário definir alguns parâmetros na máquina, como por exemplo, a espessura das camadas.
- Produção: a produção por MA é automatizada, com reduzida necessidade de supervisão humana direta, a qual ocorre apenas para garantir o fornecimento de materiais e para prevenir ou atuar quando surjam eventuais problemas.
- Remoção: após o fim da produção, a peça deve ser retirada da máquina.
- Pós-processamento: após a produção, podem ser requeridas atividades adicionais, tais como retirar estruturas de suporte e limpeza. Tratamentos adicionais podem também ser necessários para garantir qualidades estéticas à peça (pintura, tratamento de superfície), ou as características físicas desejadas, como resistência e dureza.
- Aplicação: a peça está pronta para utilização.

Por sua vez, o processo de MA pode ser dividido em 3 fases:

1. Pré-processamento;
2. Processamento do protótipo rápido (PR)
3. Pós-processamento.

Na primeira fase, é usado um *software* de desenho 3D, para criar um modelo da peça ou produto. Ainda nesta fase um *software* (*slicer*) converte o desenho CAD num novo ficheiro onde o modelo se apresenta “fatiado” em diversas camadas.

**Figura 2.4 - MODELO SÓLIDO EM CAD 3D CONVERTIDO PARA REPRESENTAÇÃO STL**



Fonte: (Ribeiro Raulino et al., 2013)

Na fase de processamento, o equipamento cria a primeira camada do modelo físico e “baixa” o modelo até a altura da espessura da próxima camada, repetindo-se esse processo até a construção do modelo sólido. Por último, o modelo e os seus suportes são removidos passando à fase do acabamento final (em alguns casos, é necessário um processo final de cura ou ainda um tratamento da superfície) da peça física (Palm, 1998).

A utilização da MA no processo de desenvolvimento de produtos apresenta, segundo Modeen (2005), os seguintes **pontos fortes**:

- (i) Capacidade de produzir formas tridimensionais complexas e detalhadas;
- (ii) Redução de prazos de entrega para peças únicas;
- (iii) Possibilidade de instalação em ambientes não industriais, dado que é uma tecnologia que não produz poluição sonora ou desperdícios.

Gndak, Gondak e Zluhan (Gndak et al., 2005) apontam também como **pontos fortes**:

- (i) Redução substancial do tempo de lançamento do novo produto no mercado, em razão da diminuição da necessidade de testes.
- (ii) Redução de custos associados ao projeto de produtos, uma vez que o protótipo rápido poderá auxiliar e evidenciar as deficiências e lacunas existentes nos processos de manufatura.

O processo de MA apresenta ainda os seguintes **pontos fracos**, segundo Modeen (Modeen, 2005):

- (i) Em tempo real, a velocidade de produção do protótipo é muito lenta. Dependendo do nível de precisão requerido e do tamanho do objeto, o processo pode levar algumas horas ou alguns dias;
- (ii) A maioria dos equipamentos apenas pode fabricar produtos ou peças de pequeno volume;
- (iii) O número de materiais disponíveis para a MA é ainda limitado.
- (iv) A qualidade final da superfície do produto gerado necessita, normalmente, de um acabamento adicional secundário.

Na literatura encontramos vários estudos que visam avaliar a possibilidade da utilização da tecnologia MA como uma alternativa/tecnologia complementar aos processos tradicionais de manufatura, quando as limitações destes processos atrasam ou impedem o processo de inovação e desenvolvimento. Estes estudos permitem, ainda, identificar as necessidades, obstáculos e recursos necessários para a integração da MA no processo de fabrico. Numa perspetiva agregada, a MA é mais vantajosa em mercados caracterizados por uma procura customizada, flexível, onde a complexidade e os elevados custos de transporte para entrega do produto final se intersectam (Berman, 2012; Gibson et al., 2015; Lipson & Kurman, 2013).

Por sua vez, a MA, enquanto sistema de manufatura avançado, caracteriza-se por ser de capital e conhecimento intensivos, requerendo altos níveis de capital intelectual, uma vez que exige competências específicas (informática, química, desenho) para o desenvolvimento e incorporação nos processos e serviços industriais. A robustez deste tipo de abordagem industrial é, efetivamente, sustentada nas competências e na qualificação dos recursos humanos (competências técnicas e tecnológicas multidisciplinares). A qualificação e formação de técnicos nestas áreas constitui um desafio adicional, uma vez que terá de ser adotada uma nova forma de pensar, modelar e conceptualizar produtos. Os novos paradigmas de pensamento inerentes ao processo de modelação 3D para a MA são muito diferentes dos processos a utilizar para a modelação de estruturas análogas para a manufatura clássica ou subtrativa.

As principais características associadas a este processo de fabrico são, assim, a redução do número de etapas e processos na produção de um objeto, a economia de material, bem como, a possibilidade de combinar geometrias e materiais distintos. Efetivamente, para a produção de uma única peça de geometria complexa, através de meios convencionais pode ser necessário a utilização de vários equipamentos, ferramentas específicas e diferentes processos de usinagem (desgaste mecânico) e de acabamento até chegar ao produto final. Pelo contrário, utilizando um equipamento de MA, é possível produzir a peça numa única etapa ou num número de etapas significativamente inferior. Por outro lado, enquanto um processo de usinagem origina refugos e desperdício de material, num processo de MA, uma vez que a peça é produzida por deposição de material, camada por camada, não existe desperdício. Assim, se a MA permite, por um lado, desenvolver protótipos com o objetivo de testar previamente determinado produto, ou apresentá-lo aos colaboradores ou até aos clientes de uma forma

rápida e eficiente, permite ainda a produção de bens complexos, como próteses médicas personalizadas, emergindo como um processo integrante da cadeia produtiva na indústria (Berman, 2012).

A crescente evolução registada nesta tecnologia originou, deste modo, um ajustamento ao nível da filosofia de base, abrindo portas a processos criativos que anteriormente não poderiam sair da maquete. É cada vez mais clara a relação existente entre o processo de inovação no produto e a MA, uma vez que, dada a sua flexibilidade e facilidade de alterar o projeto (com baixos custos e ciclos rápidos), é possível, recorrendo apenas a um modelo 3D, por exemplo, testar e rapidamente ajustar e adaptar um protótipo, no sentido de alcançar o produto final desejado, permitindo uma otimização de todo este processo (Berman, 2012; Lipson & Kurman, 2013).

Contudo, tal como já referido, esta tecnologia apresenta também algumas limitações, as quais criam algumas dúvidas quanto à integridade estrutural de produtos finais produzidos, podendo, por este motivo, influenciar na decisão de adquirir e incorporar a mesma numa empresa, tais como: menor precisão dimensional em relação aos métodos convencionais de produção; reduzida variedade de materiais, cores e acabamentos; resistência limitada à tensão, ao calor e à humidade elevada; alguns dos equipamentos ainda apresentam valores muito elevados (Berman, 2012; Sealy, 2012).

Porém, é clara a crescente evolução desta tecnologia desde o seu surgimento no mercado, quer ao nível dos processos utilizados, quer ao nível dos materiais envolvidos, registando uma aplicação crescente em diversas áreas e cadeias produtivas. Devido à flexibilidade para a produção de pequenas séries e versatilidade de materiais e geometrias, essa tecnologia compreende as ferramentas necessárias para revolucionar processos produtivos e alterar estratégias de produção.

Sharon Ford (Ford, 2014), identifica como principal benefício da MA a produção, de uma forma competitiva, de bens com baixo volume de produção, personalizados e complexos na medida em que é possível definir *designs* e produção de protótipos e peças a baixos custos. Por sua vez, níveis adicionais de complexidade do produto não acarretam custos adicionais de produção para além da fase de desenho.

Na manufatura tradicional, pelo contrário, o protótipo, ferramentas e processos de configuração podem ser muito demorados e dispendiosos quando está em causa a produção de pequenas séries. Os avanços na MA promovem a inovação alterando a forma como algumas empresas produzem e entregam bens e serviços. As empresas estão a começar a utilizar a MA como uma ferramenta para atingir objetivos, tais como:

**- Aumentar a eficiências das cadeias de abastecimento**

A MA tem o potencial de reduzir os custos de armazenamento, movimentação e distribuição de matérias-primas, peças ou produtos. A capacidade de produzir peças segundo a procura sem a necessidade de novas ferramentas ou configurações pode contribuir para o surgimento de novas soluções na gestão da cadeia de abastecimento.

#### **- Redução do *Time to Market***

Com a utilização da MA é expectável uma redução no tempo para lançamento no mercado, uma vez que esta tecnologia permite ciclos mais curtos de design e prototipagem, gestão de stocks de matéria-prima mais previsíveis e a eliminação de ferramentas e tempos de configuração de fábrica para novos produtos. A liberdade de projetar e redesenhar protótipos e peças sem desacelerar ou aumentar os custos de produção permite um desenvolvimento de produto mais célere e fluido. Da mesma forma, a capacidade das máquinas de MA lerem arquivos CAD melhora o planeamento: as máquinas sabem os requisitos em termos de tempo e material necessários para construir uma peça, o que permite ajustar o planeamento a qualquer momento. A General Motors usou a MA para redesenhar significativamente os modelos do Chevrolet Malibu 2014 a um custo muito menor do que quando usava o processo de escultura em argila. A empresa relata que a tecnologia foi particularmente útil para atualizações da nova consola do modelo Malibu, que apresenta suportes de smartphone integrados para o condutor e passageiro. A consola redesenhada também é mais leve, o que contribui para a melhoria da eficiência em termos de consumo de combustível.

#### **- Customização em massa**

A capacidade de uma máquina de MA poder executar vários projetos com diferentes designs surge como incentivo para que a indústria de manufatura possa passar da produção em massa para a customização em massa. Usando materiais que variam de plástico e titânio a células humanas, a MA permite criar produtos complexos, de uma variedade quase infinita, de acordo com as especificações exatas do cliente. A título de exemplo a Bespoke Products, uma divisão da 3D Systems, fabrica por MA peças protéticas personalizadas do corpo humano. A empresa constrói modelos de pernas completas que têm exigências específicas, como simetria corporal, joelhos fixos e tornozelos flexíveis. Durante o processo de desenvolvimento, os clientes selecionam entre uma variedade de opções para personalizar os seus produtos. As pernas fabricadas recorrendo a esta tecnologia apresentam um custo que pode variar entre US \$ 5.000 e US \$ 6.000 cada, e têm características que não estão disponíveis nas pernas protéticas existentes (tradicionais), que podem custar até \$ 60.000.

#### **- Sustentabilidade ambiental**

A MA apresenta uma grande potencialidade no que se refere à redução do impacto ambiental uma vez que se trata de uma ferramenta multifacetada o que permite substituir muitos dos processos de

fundição, moldagem e outros processos de fabricação, que consomem quantidades significativas de energia e produzem resíduos industriais perigosos. A tecnologia também impõe poucas restrições ao nível do design do produto, permitindo que partes anteriormente separadas sejam incorporadas num único produto.

## 2.3 Principais processos de MA

Existem atualmente mais de uma dezena de processos (tecnologias) de MA. Estes processos diferem, essencialmente, nos materiais que podem usar (plásticos, cerâmicas, metais ou papel), na forma de como as camadas são depositadas e no princípio subjacente. Alguns processos fundem a matéria-prima para criar camadas (*SLM - Selective Laser Melting, SLS - Selective Laser Sintering, FDM - Fused Deposition Modelling*), outros “curam” (endurecem) uma espécie de resina que pode ser através de luz ultravioleta (caso da *SLA - Stereolithography*).

Cada método apresenta vantagens e desvantagens, e delas depende a escolha que as empresas fazem. Os principais fatores que influenciam a escolha do tipo de máquina e, conseqüentemente, do processo, é a velocidade de impressão, o custo do produto/peça acabado, o custo das matérias-primas e a capacidade de imprimir em uma ou várias cores.

Na tabela seguinte são identificados os vários processos de MA em função dos materiais possíveis de processar:

**Tabela 2.2 - Processos de MA**

Processo	Descrição	Método de AM	Material
Fotopolimerização	Um polímero fotocurável é curado seletivamente usando uma fonte de luz	Laser UV	Fotopolímero
Modelação por extrusão	O material é depositado de forma seletiva através de um extrusor	Aquecimento por uma resistência elétrica	Polímeros, cerâmicas, metais e outros materiais pastosos
Fusão de pós pré-depositados	Um feixe de alta energia funde seletivamente regiões de uma cama com pó pré-depositado	Laser e feixe de elétrons	Polímeros, cerâmicas e metais
Deposição direta de energia	O material de adição na forma de pós é injetado diretamente no feixe/poça	Laser e PTA	Metais e cerâmicas
Arco elétrico	Fonte de energia é um arco elétrico que funde o material por adição (pó/arame)	PTA, Plasma arame, TIG, MIG/MAG	Metais

Fonte: Elaboração própria

A figura também permite a identificação e comparação dos vários processos e materiais associados à tecnologia MA.

Figura 2.5 - Categorização do processo de manufatura aditiva

Additive Manufacturing (AM) Processes														
Process	Laser Based AM Processes						Extrusion Thermal	Material Jetting	Material Adhesion	Electron Beam				
	Laser Melting			Laser Polymerization										
Process Schematic														
Name Material	SLS	■	DMD	■	SLA	■	FDM	■	3DP	■	LOM	■	EBM	■
	SLM	■	LENS	■	SGC	■	Robocasting	■	IJP	■	SFP	■		
	DMLS	■	SLC	■	LTP	■			MJM	■				
			LPD	■	BIS	■			BPM	■				
					HIS	■			Thermojet	■				
Bulk Material Type		Powder	■	Liquid	■	Solid	■							

Fonte: (Bikas et al., 2015)

### 2.3.1 Processo de fusão a laser

O método **Selective Laser Sintering (SLS)** imprime partículas de vidro, plástico ou cerâmica, que são fundidos pela ação de um laser de alta potência. Uma vez impressa, a peça seca na máquina antes de ser removida. Este método não requer o uso de suportes adicionais, como acontece em algumas tecnologias aditivas, o que a torna mais rápida. Pode ser utilizado para criação de protótipos ou produtos finais, tal como acontece com o *Direct Metal Laser Sintering*. Esta tecnologia é particularmente útil em indústrias que necessitam de pequenas quantidades de objetos impressos, mas de boa qualidade, e tem sido muito utilizada na produção de pequenos protótipos de peças para aviões. SLS é mais caro que o FDM (descrito no ponto 2.3.2), mas os seus resultados são idênticos no acabamento e performance comparativamente com uma peça produzida pelos meios tradicionais. É indicado quando o rigor e comportamento mecânico do modelo a produzir são importantes.

**Selective Laser Melting (SLM)** é uma técnica em que uma liga de metal em pó é derretida e sobreposta camada por camada. Este processo é usado na conceção de peças metálicas ou moldes com estruturas complexas, com aproximadamente 100% de densidade.

O **Direct Metal Laser Sintering (DMLS)** recorre à fusão de camadas de pó com recurso a laser. O calor do laser solidifica as camadas de pó metálico. Este processo facilita a criação de geometrias complexas e trabalha o metal com grande precisão, qualidade e excelentes propriedades mecânicas. Funciona tanto para a construção de protótipos como para produção de peças e acelera os ciclos de conceção, oferecendo possibilidades anteriormente inexistentes na área da engenharia. Esta

tecnologia é utilizada em diversas áreas, com destaque para a indústria aeroespacial e medicina dentária.

O método **Selective Heat Sintering (SHS)** permite a impressão 3D de camadas de plástico em pó, unido pela movimentação da cabeça de impressão térmica, que vai aplicando calor para a fusão. Quando uma camada está pronta, segue a impressão da camada seguinte. Quando termina a construção, o objeto está rodeado por pó não fundido, que servirá de suporte para geometrias complexas e saliências, aplicando outros processos de MA. Quando o objeto fica pronto, o pó excedente é removido e pode ser reaproveitado para novas impressões.

Esta é uma tecnologia aditiva muito semelhante com o *SLS*. A principal diferença entre as duas tecnologias é que o SHS funciona com uma cabeça de impressão térmica menos intensa, tornando-se um método mais económico.

**Laser engineered net shaping (LENS)** consiste num processo que apresenta a vantagem de produzir protótipos de metal plenamente densos. Neste processo um gerador de raio laser de alta potência é usado para fundir pó metálico fornecido coaxialmente ao foco do raio laser, através de um cabeçote de deposição. O raio laser passa através do centro do cabeçote e é focado para um pequeno ponto através de uma lente ou conjunto e lentes. Uma mesa X-Y é movida por varrimento de forma a gerar cada camada do objeto. O cabeçote é movido para cima à medida que cada camada é terminada. O raio laser pode ser conduzido até à área de trabalho através de espelhos ou fibra ótica. Os pós metálicos são fornecidos e distribuídos ao redor da circunferência do cabeçote por gravidade ou através de um gás inerte portador pressurizado. Mesmo nos casos onde não se necessitar de uma corrente de gás para se transportar o pó metálico, é necessário ter uma corrente de gás inerte para se proteger a poça de metal líquido do oxigénio atmosférico, de forma a se garantir as propriedades metalúrgicas e promover melhor adesão entre camadas, embebendo de forma superficial e mais eficaz. Podem ser usados pós de diversas ligas metálicas, tais como aço inoxidável, nióbio, cobre, alumínio e titânio. A potência do gerador de raio laser varia conforme o material usado, taxa de deposição e outros parâmetros, podendo oscilar desde algumas centenas até 20.000 watts ou mais.

**Direct metal deposition (DMD)** é uma técnica de fabrico aditivo que utiliza um laser como fonte de alimentação para sinterizar ou fundir o material em pó (normalmente metálico).

### 2.3.2 Processo baseados na extrusão

A extrusão de material é um processo térmico e usa um bocal de extrusão aquecido de forma a amaciar e fundir o material, usualmente plástico, fornecido sob a forma de filamento. Após ter sido fundido, esse material passa através do bocal e é depositado, o qual após ter arrefecido e solidificado formará a geometria final da peça.

A tecnologia *Fused Deposition Modelling (FDM)* baseia-se na deposição de camadas resultantes da fusão, por volta de 200°C, de filamentos de materiais termoplásticos. Simultaneamente, são usados outros filamentos servindo de suporte às superfícies sem apoio vertical, a fim de oferecer sustentação durante o processo. Os filamentos destinados ao fabrico podem ser de poliéster, polipropileno, ABS, PLA ou Nylon, enquanto o material de suporte é um composto solúvel. Esses materiais conferem durabilidade e resistência ao protótipo. A principal vantagem deste processo é o baixo preço tanto do equipamento como da matéria-prima.

### **2.3.3 Material jetting**

Este processo utiliza finos bocais de forma a projetar o material sob a forma de “spray”, de uma forma controlada, usando material fundido ou mais usualmente um adesivo de forma a consolidar um pó num objeto sólido. O princípio de funcionamento é semelhante a todos os processos “*laser-melting*”, ainda que não ocorra alteração no estado das partículas.

#### ***Three-dimensional printing (3DP)***

Este processo é idêntico a impressão a jato de tinta, em que o material é depositado camada a camada, intervalados com uma cola para consolidar o objeto. Com este processo é possível criar produtos completamente funcionais, a cores e com secções suspensas e sem suporte. Assim como a SLS e SLA, este processo, deposita uma camada de cada vez para depois baixar a base de trabalho no final. Como permite usar diversas cores, consegue-se fabricar protótipos para testes de mercado (por exemplo sapatos desportivos). É também um processo indicado para fazer modelos explicativos do funcionamento ou aparência de um produto ou peça.

#### ***Multijet modelling (MJM)***

Impressão por Jato de Tinta (MJT, Multi Jet Modeling; BPM, Ballistic Particle Manufacturing): ao contrário dos processos anteriores, este processo utiliza equipamentos que usam a tecnologia de jato de tinta. Um cabeçote de impressão por jato de tinta “imprime” seletivamente um agente ligante que funde e aglomera o pó nas áreas desejadas. O pó que continua solto permanece na plataforma para dar suporte ao protótipo. A plataforma desce ligeiramente, adiciona-se mais material e o processo é repetido. O princípio de funcionamento envolve um cortador (normalmente um laser), o qual corta uma película fina de papel ou plástico com os contornos desejados. Essa película é então prensada em cima da anterior com um compactador aquecido, assim é ativada a secagem de uma cola presente na face inferior da película, para que seja ligado ao já compactado.

**O processo *Laminated Object Manufacturing (LOM)*** utiliza um cilindro para efetuar pressão nas camadas, unindo-as a cada nova deposição. De seguida, é definido o contorno de cada camada com o auxílio de um laser que o recorta. O processo envolve, assim, sucessivas deposições, colagens e

recortes do material. A cada recorte, o material em excesso permanece na plataforma, servindo de apoio à peça em construção. Os materiais que estão na base da construção das peças podem ser termoplásticos, papel, metal e materiais compósitos. A utilização de papel como matéria-prima para as peças permite que o objeto criado tenha a aparência de madeira (Grimm, 2005). A tecnologia LOM constitui uma alternativa económica à estereolitografia (SLA).

### **2.3.4 Electron beam**

Electron beam é um processo idêntico ao processo “*laser-melting*” (SLM) mas em vez de ser usado um feixe laser, é utilizado um feixe de eletrões como uma fonte de energia para fundir ou sinterizar o material.

***Electron-beam Melting (EBM)***, são construídos componentes metálicos a partir de camadas sobrepostas de pó de metal, derretido por um poderoso feixe de eletrões controlado por computador. Cada camada é fundida com a geometria exata definida previamente no modelo CAD. Os eletrões emitidos pelo feixe geram a energia necessária para a fusão do pó. Este processo ocorre em vácuo a temperatura elevada, adequada para libertar as tensões de cada uma das camadas, e não existe necessidade de efetuar um tratamento térmico para a obtenção das propriedades mecânicas completas das peças. As ligas de titânio são frequentemente utilizadas em EBM, particularmente no âmbito do mercado dos implantes médicos.

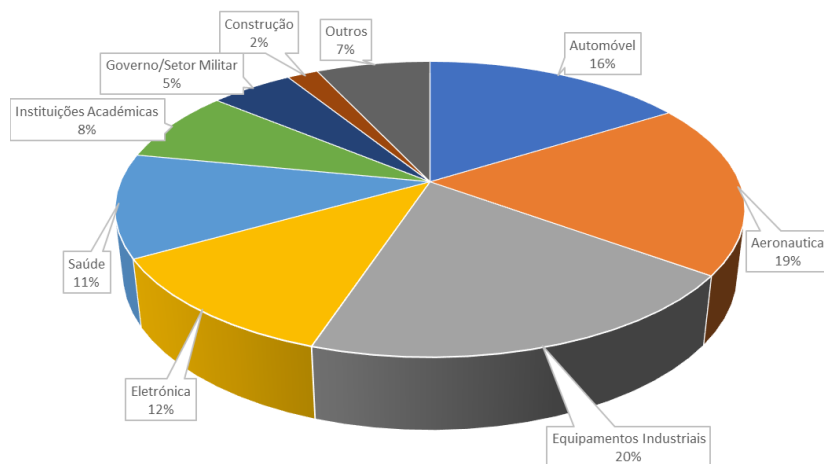
## **2.4 Principais aplicações da MA**

Como referido no ponto precedente, as primeiras versões tecnológicas de MA visavam, essencialmente, o desenvolvimento de protótipos para análise e validação, com menores exigências em termos de materiais, precisão dimensional e desempenho. Ao longo dos anos, com a ampliação da perceção do potencial de uso desta tecnologia, registou-se um aumento da exigência por melhorias, tanto no que diz respeito aos processos e seus componentes, como dos materiais e funcionalidades, o que potenciou a sua ampla difusão.

Atualmente, desde os acessórios femininos até á indústria automóvel, aeroespacial, metalomecânica, passando pela construção civil, moda e medicina, eletrónica, arquitetura, e mais uma infinidade de outras áreas, esta tecnologia passou a estar associada à introdução de uma cultura digital e de inovação nas empresas, ditando o seu posicionamento no mercado em termos competitivos.

O gráfico seguinte (Gráfico 2.2) representa o peso relativo de cada um dos principais setores económicos no que concerne à integração da MA, tendo em conta o mercado que esta tecnologia representa.

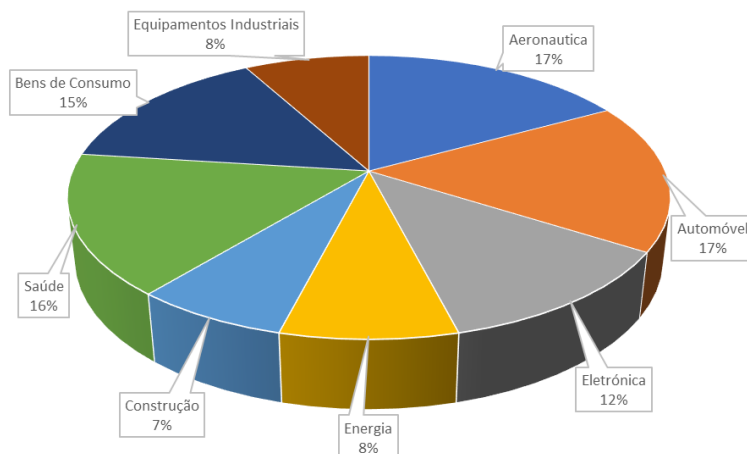
**Gráfico 2.2 – Peso dos setores económicos no mercado mundial da MA**



Fonte: Adaptado de The Wohlers Report (T. Wohlers, 2008)

Por sua vez, quando analisada a distribuição por setor ao nível dos países da União Europeia o cenário está representado no Gráfico 2.3:

**Gráfico 2.3 – Peso dos setores económicos no mercado europeu da MA**

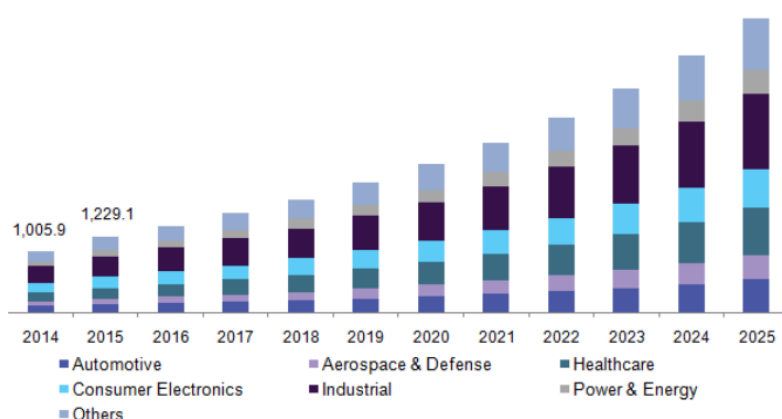


Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: European Technology Platform in Additive Manufacturing

O gráfico seguinte (Gráfico 2.4) permite analisar a evolução registada, nos últimos anos, por setor de atividade, ao nível da integração desta tecnologia, numa perspetiva industrial e mundial. Este gráfico compreende ainda uma previsão até 2025 da evolução deste indicador. Apesar de ser difícil prever qual o comportamento da indústria no futuro, de acordo com o Wohlers Report (T. Wohlers, 2008) não se prevê, nos próximos anos, uma inversão da tendência registada, prevendo-se, pelo contrário, um aumento da integração da MA nestes setores.

**Gráfico 2.4 – Evolução da Integração da MA, por setor económico**



Fonte: Adaptado de The Wohlers Report (T. Wohlers, 2008)

### 2.4.1 Medicina

A utilização da MA tem assumido uma forte aplicabilidade na área das próteses e no design e desenvolvimento de aparelhos, instrumentos e ferramentas cirúrgicas para a área médica (Krings & Weinberger, 2018; Maia, 2016; van Est & Kool, 2015).

No fabrico de próteses esta tecnologia é bastante útil uma vez que a facilidade de fabrico rápido de próteses, de acordo com as proporções físicas de cada paciente, tem vindo a substituir as próteses pré-fabricadas e com medidas padrão, que muitas vezes não se adaptavam na perfeição aos pacientes. Atualmente as próteses mais fabricadas utilizando a tecnologia aditiva são as articulações de joelhos, próteses de orelhas de cera por meio da tecnologia de sinterização a laser a partir de um molde de orelha em gesso já existente ou partes da face ou crânio, por exemplo.

Outra área de aplicação na medicina é a área de planeamento cirúrgico. O uso de modelos médicos fabricados por MA auxilia o cirurgião, não só a simular o procedimento que deverá executar, como a estudar a estrutura óssea do paciente antes da cirurgia. Isso, em geral, reduz não só o tempo, como o custo e principalmente o risco da cirurgia.

Outra aplicação desta tecnologia na área médica é precisamente no ensino dos estudantes, não sendo necessária a utilização de ossos de cadáveres, sendo possível reproduzir essas partes do corpo humano através desta tecnologia.

Ainda na área médica aplicações no design e na manufatura de tecidos biocompatíveis estão a dar os primeiros passos nesta tecnologia, o que possibilitará a implantação imediata de tecidos de difícil reposição (Grimm, 2005).

**Figura 2.6 - Exemplos de Aplicação da MA na Medicina**



Fonte: Aplicações da impressão 3D para a medicina (Filament2Print, 2019)



Fonte: Practical Applications and uses for Additive Manufacturing (Lasers, 2019)

Recentemente, temos assistido ao desenvolvimento de projetos mais ambiciosos, relacionados com a criação de órgãos em laboratório (Borges, 2018). Em abril de 2019 (Monteiro, 2019), surgiram na

comunicação social várias notícias dando nota de que uma equipa de investigadores da Universidade de Tel Aviv, em Israel, tinha impresso um coração 3D com tecido humano, contendo todas as estruturas de um coração real: veias, ventrículos e átrios. Este procedimento utiliza engenharia genética, que transforma células do tecido adiposo do paciente em células-tronco, e a partir daí é criado o material genético utilizado tanto na impressão do músculo cardíaco como dos vasos sanguíneos. Nenhum estudo, até ao momento, havia conseguido alcançar tal resultado. O coração 3D ainda não tem a capacidade de bombear sangue. Contudo, essa é a ambição dos especialistas israelitas para as próximas experiências que pretendem realizar.

Um outro estudo que está a ser desenvolvido, diz respeito à produção estruturas bioimpressas para auxiliarem na regeneração da Medula Espinal (UC San Diego News, 2019). Esta investigação está a ser desenvolvida por uma equipa de investigadores da *San Diego School of Medicine e Institute of Engineering in Medicine* da Universidade da Califórnia. Ainda não está pronta para ser utilizada em humanos, no entanto, esta técnica promete ser um passo importante nas terapias de lesões à medula espinal. Utiliza estruturas bioimpressas em 3D que servem de suporte a células estaminais neurais, capazes de regenerar lesões e cortes na medula. O sistema foi, para já, testado em ratos. Os resultados apontam para uma recuperação dos animais com lesões na espinha, com o implante a guiar o desenvolvimento de novos tecidos na medula, ligando as extremidades cortadas. Não é um processo imediato, e a recuperação decorre ao longo de vários meses.

A empresa Aspect Biosystems anunciou, em 2020, uma colaboração com a Universidade de Maastricht (Addario et al., 2020). Pretendem desenvolver tecido viável de rim para testes médicos. O objetivo a longo prazo é ambicioso: desenvolver a capacidade de bioimprimir em 3D rins, facilitando a vida aos pacientes que requerem diálise e esperas longas por transplantes de disponibilidade reduzida. Esta empresa trabalha no desenvolvimento de tecidos vivos impressos em 3D. Para isso, criou uma impressora 3D de microfluidos. A sua plataforma tem cabeças de impressão que contém diferentes tipos de fluidos e tintas. Isto permite a sobreposição camada a camada de diferentes tipos de células, para imprimir bioestruturas em 3D (Coelho, 2019b).

Estas são algumas das muitas formas em que a impressão 3D está a contribuir para mudar a medicina. Por enquanto, são tecnologias que ainda se ficam pelo laboratório. No entanto, a continuidade da investigação aponta para que, num futuro próximo, a bioimpressão 3D seja uma das tecnologias que nos ajudará a cuidar da saúde (Coelho, 2018a).

## 2.4.2 Indústria Automóvel e Aeronáutica

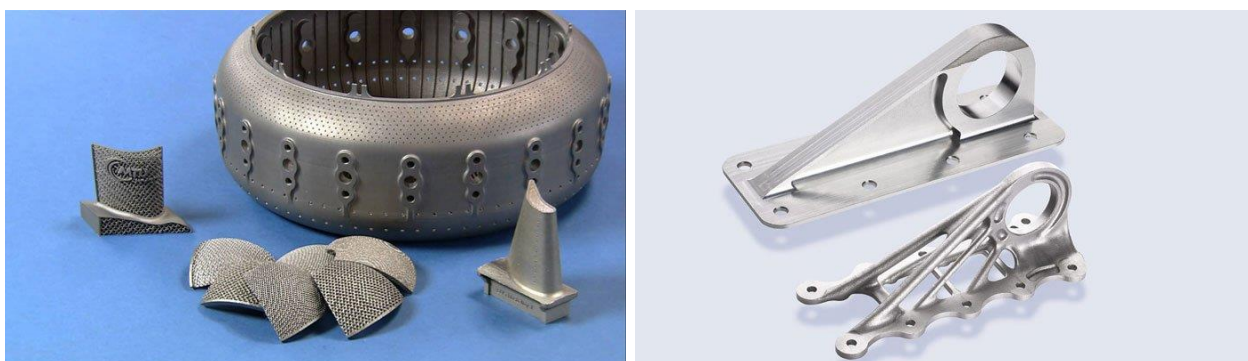
O setor automóvel e aeronáutico tem registado um incremento significativo ao nível da aplicação da MA. No setor automóvel destaca-se a criação de modelos em escala para testes funcionais, e no setor aeronáutico a criação de partes de avião, em escala, para testes em túnel de vento.

Ambos o setores reconhecem o contributo desta tecnologia quer ao nível da redução de custos, quer na redução de tempo associado ao desenvolvimento dos modelos.

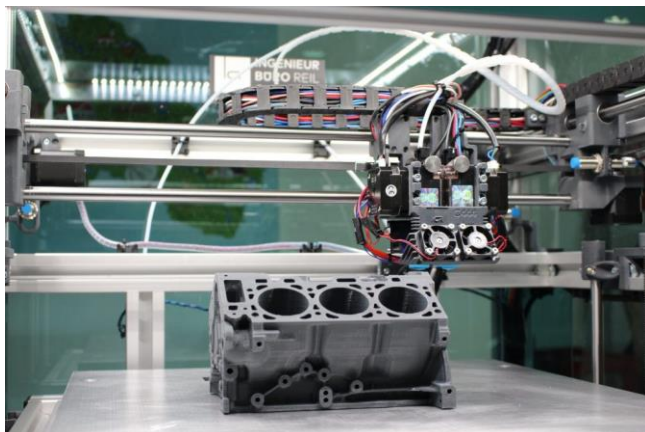
Ainda ao nível do setor aeronáutico, a MA está a ser aplicada para diminuir o peso dos modelos fabricando estruturas mais leves.

O aumento da complexidade geométrica das peças do setor aeronáutico, a constante atualização e consequente aumento dos custos de produção destas peças, leva a que a MA seja uma alternativa favorável ao fabrico por meios tradicionais. A MA tem contribuído na área de atualização/ teste de novas peças. A possibilidade de produção de pequenas séries com o objetivo de serem usadas para testes, potencia o interesse nesta área. Na área da aeronáutica (assim como na medicina) nem todas as tecnologias de MA são aplicáveis à construção de peças. Os processos mais utilizados nesta área são a sinterização seletiva a laser (SLS), estereolitografia (SLA) e modelagem por fusão e deposição - FDM (R. Harris, 2011). A Boeing utiliza o processo SLS para fabricar centenas de peças e componentes nos modelos 737, 747, e 77 e ainda no protótipo do 787 (S. Mellor, 2014).

**Figura 2.7 - Exemplos de Aplicação da MA na Indústria Automóvel e Aeronáutica**



Fonte: Additive manufacturing in aerospace is growing (Michelle, 2018)



Fonte: Key Additive Manufacturing Industry (*Key Additive Manufacturing Industry*, 2019)

### 2.4.3 A MA no Espaço

A década de 60 ficou marcada pela presença do homem no espaço. Em plena Guerra Fria, a União Soviética lança, em abril de 1961, a nave Vostok 1, tendo como rota, uma volta completa em órbita ao redor do planeta. O cosmonauta soviético Yuri Gagarin ficou assim conhecido como o primeiro ser humano a ir ao espaço. Passados 5 anos, em 1969, os Estados Unidos da América lançam a nave Apollo11. Na sua viagem à lua, Neil Armstrong imortalizou o momento com a célebre frase “*Este é um pequeno passo para um homem, mas um grande salto para a humanidade*”.

Mais recentemente, também a MA passou a marcar presença no espaço, tendo-se, inclusivamente, registado uma intensificação da sua aplicação no campo espacial (Coelho, 2019a).

A NASA foi pioneira no uso destas tecnologias no espaço, tendo instalado, em 2014, uma impressora 3D concebida pela empresa Made In Space, marcando o início das experiências de impressão 3D em órbita. 25 de novembro de 2014 fica para a história desta tecnologia como o dia em que foi impresso o primeiro objeto no espaço, tratando-se de uma peça a incorporar na própria impressora (Coelho, 2018b).

Contudo, a impressão 3D em órbita já não é um exclusivo da NASA. No âmbito do projeto europeu MELT - *Manufacturing of Experimental Layer Technology* (Beeverycreative, 2018), cujo consórcio inclui a empresa portuguesa Beeverycreative, foi possível desenvolver e testar um protótipo de impressora 3D capaz de imprimir, em ambiente de microgravidade e utilizando polímeros de alta performance, peças e ferramentas úteis para os astronautas. O protótipo já foi entregue à ESA nas instalações do ESTEC em Noordwijk. Este centro de pesquisa da agência, entre outras valências, investiga o potencial das tecnologias MA em aplicações aeroespaciais.

Num olhar para o futuro, que se prevê muito próximo, procurou-se desenvolver uma impressora 3D com capacidade para imprimir habitats utilizando como matéria-prima recursos que se podem encontrar nos próprios planetas. Com ajuda dos arquitetos da Foster + Partners, especializados em megaestruturas, e da Monolite, empresa especialistas em impressoras 3D de grandes dimensões, desenvolveram-se tecnologias de impressão 3D de estruturas usando regolito lunar (Foster+Partners, 2013). Os investigadores da ESA desenvolveram um sucedâneo de composição química similar para aplicar na impressão. Nas instalações da ESTEC em Noordwijk está um bloco alveolado com uma tonelada e meia. Este é o protótipo para futuras estruturas de abrigo para astronautas na Lua, impressas em 3D.

A NASA tem os olhos firmemente colocados em Marte e desafiou (2019) empresas e universidades a participar no *3D-Printed Habitat Challenge* (NASA, 2019). Durante uma semana, diversas equipas trabalharam na impressão 3D de um habitat. O projeto Marsha da AISpaceFactory, concebido para ser impresso com solo marciano, foi o vencedor desta competição.

Um outro projeto que se encontra a ser desenvolvido pela Made In Space, financiado pela NASA, é o Archinaut, o qual visa lançar, previsivelmente em 2022, um satélite capaz de imprimir as suas próprias longarinas de suporte aos painéis solares.

Mesmo a venerável tecnologia que nos leva ao espaço está a ser transformada graças à impressão 3D. A ESA desenvolveu diversas peças estruturais e de motores impressas em titânio, com poupanças de material e ganhos de resistência (*ESA - Ten Ways 3D Printing Could Change Space*, 2014). Peças impressas em 3D já são usadas nos foguetões e motores da Space X, Arianespace e Blue Origin. A Relativity Space está a desenvolver métodos para imprimir em 3D todo um foguetão e os seus motores, usando as tecnologias de MA para diminuir drasticamente o número de peças e o seu peso.

Face ao exposto, podemos concluir que as tecnologias de MA têm vindo a desempenhar um papel ativo na indústria aeroespacial, envolvendo desde a fabricação por sinterização para aeronáutica e satélites, impressão de objetos em órbita, até ao desenvolvimento de técnicas e materiais para posterior aplicação na Lua e em Marte. Sonhos que outrora pareciam “futuristas”, são cada vez mais uma realidade, como o desenvolvimento de sondas de Von Neumann capazes de se auto-replicar e colonizar os planetas, criando condições de habitabilidade para astronautas, investigadores e colonos. Por sua vez, estas tecnologias serão essenciais para a redução dos custos associados às missões espaciais, bem como no apoio ao suporte de vida em missões de longa duração.

## 2.5 A MANUFATURA ADITIVA E AS KET's

Nas últimas décadas temos assistido a uma crescente transformação na ciência e tecnologia, responsável por mudanças disruptivas no cenário industrial (Araújo, 2017).

Neste contexto, a Comissão Europeia tem priorizado o investimento na investigação e desenvolvimento de determinadas tecnologias-chave, também referenciadas como Tecnologias Facilitadoras Essenciais (Key Enabling Technologies – KET's), designadamente (Bigliardi et al., 2020; European Commission, 2020b):

- a) Processos de Produção Avançada
- b) Nanomateriais e Materiais Avançados
- c) Biotecnologia
- d) Micro/nanoeletrónica e Fotónica
- e) Inteligência Artificial
- f) Segurança e Conectividade

As KET's permitem impulsionar a inovação em toda a economia, abrangendo todos os seus setores, apresentando uma tendência de convergência e integração total.

Estas tecnologias sustentam a liderança da Europa nas cadeias de valor industriais, destacando-se neste âmbito a robótica automóvel e industrial, contribuindo ainda para a introdução de melhorias ao nível da saúde e da segurança das pessoas, bem como reverter drasticamente as mudanças climáticas.

Contudo, estando as mesmas associadas a um grau de complexidade acrescido, aumentam os desafios que se colocam à indústria, no que concerne à captura do seu potencial máximo de inovação.

Como já referido, a indústria da manufatura, ou indústria transformadora, constitui um elemento-chave para o crescimento da economia europeia, desempenhando um papel crucial ao nível da criação de emprego e competitividade, sendo ainda responsável por uma importante fatia do investimento em investigação e inovação (European Commission, 2020c). Neste contexto, a introdução de novas tecnologias constitui uma estratégia para alcançar níveis de competitividade acrescidos, ou mesmo novos mercados, especialmente nos casos em que a aposta se centra em tecnologias digitais e produção avançada.

A produção avançada consiste na produção de produtos complexos por via da utilização de conhecimento e tecnologias inovadoras, estando ainda relacionada com a introdução de melhorias nos processos no sentido de reduzir o desperdício, a poluição, o consumo de materiais e o uso de energia. Atualmente, esta tecnologia enfrenta dois desafios importantes: a digitalização e a mudança para uma produção mais ambientalmente sustentável

Algumas tecnologias que surgem associadas à produção avançada são a robótica, a manufatura aditiva, a inteligência artificial e a computação de alto desempenho para modelagem.

Face ao exposto, conclui-se que os processos de MA fazem parte do conjunto de tecnologias avançadas de manufatura, integrando ainda o conjunto de KET's identificadas pela CE.

Tendo em consideração a natureza disruptiva desta tecnologia, bem como as oportunidades que pode conferir ao tecido empresarial, a presente investigação visa aferir e apresentar as implicações da incorporação de métodos e técnicas de MA, de forma sustentável, ao nível da competitividade da indústria da manufatura, em particular das empresas do setor MM.

## 2.6 Análise SWOT

A principal motivação para a construção deste capítulo consiste na contextualização do cenário macro onde estão inseridas as empresas que compõem a amostra do presente estudo. A partir da exposição realizada sobre a aplicação desta tecnologia pelo mundo, foi possível identificar aspetos comuns e evidenciar desafios gerais considerados também como requisitos para o sucesso a alcançar por meio da implementação desta tecnologia. Compreende-se que estas análises contribuirão para uma avaliação da evolução desta tecnologia e sua aplicabilidade em contexto industrial. Neste capítulo serão então identificados os principais desafios, o potencial e as oportunidades existentes.

A tabela seguinte (Tabela 2.3) resume os principais pontos identificados na literatura.

**Tabela 2.3 – Análise SWOT**

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidade de produzir formas tridimensionais complexas.</li><li>• Redução de prazos de entrega para peças únicas.</li><li>• Redução do tempo de lançamento do novo produto no mercado.</li><li>• Melhoria na fabricação e a redução de custos no projeto de produtos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Velocidade de produção lenta;</li><li>• Só possibilita fabrico de produtos ou peças de pequeno volume;</li><li>• Diversidade de materiais disponíveis para a MA é ainda limitada.</li><li>• Custo/investimento inicial</li></ul>
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vantajosa em mercados caracterizados por uma procura customizada, flexível.</li><li>• Necessidade de produção bens com geometria complexa, num curto espaço de tempo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requer colaboradores com competências específicas (informática, química, desenho).</li><li>• Preocupação com impacto na saúde e segurança, uma vez que o processo da MA poderá abranger cenários de exposição perigosos.</li></ul>

Fonte: Elaboração própria

González e Álvarez (2018), apresentam uma matriz SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças) associada à aplicação e incorporação da tecnologia de MA. Segue-se uma breve descrição e identificação dos principais aspetos abordados:

Entre as fraquezas, importa começar por destacar a principal: falta de maturidade tecnológica. É claro que as tecnologias MA estão longe de estar totalmente maduras e que os meios atualmente disponíveis provavelmente não refletem todas as capacidades e características que essas tecnologias alcançarão no futuro próximo. Atualmente, apesar das vantagens que esta tecnologia pode oferecer, apresenta ainda uma série de limitações técnicas que tornam a sua utilização num ambiente produtivo ainda limitada.

Além disso, há que considerar a existência de custos e a necessidade de investimentos para implementação inicial. Apesar de já encontramos no mercado impressoras 3D a preços reduzidos (produção doméstica), quando está em causa a produção industrial e a utilização de matérias como por exemplo o metal, o custo/investimento associado a esta tecnologia é substancialmente superior.

Ainda ao nível das fraquezas associada a esta tecnologia importa referir a ausência de conhecimento explícito (Bijker, 2010), ou existência de um conhecimento formalizado muito básico, ao nível dos potenciais utilizadores finais. Embora esta questão seja comum quando se trata de uma nova tecnologia, o conhecimento explícito limitado origina uma procura reduzida, o que por sua vez pode enfraquecer o ímpeto para a sua implementação a uma escala global.

Por sua vez, regista-se ainda a ausência de um “pacote” completo de equipamentos de MA, disponíveis para clientes em potencial, permitindo a sua utilização sem recorrer a outros equipamentos de manufatura. Efetivamente, alguns dos potenciais usos da MA dependem precisamente da disponibilidade/capacidade de manufatura no local e, portanto, a ausência de tais instalações pode ser uma restrição significativa.

No que concerne ao processo de tomada de decisão, os sistemas associados à área de MA ainda não se encontram suficientemente desenvolvidos para suporte a este processo, principalmente do ponto de vista organizacional ou logístico. Tais sistemas podem, contudo, auxiliar na avaliação caso a caso, quanto ao seu potencial em obter vantagens operacionais e/ou económicas, decorrentes da implementação de processos de MA, reduzindo os tempos/custos de fornecimento ou aumentando as capacidades operacionais críticas, entre outras vantagens.

Relativamente às forças associadas a esta tecnologia, aquela que mais se destaca corresponde à possibilidade de produzir a partir de modelos 3D. A capacidade de passar diretamente de um ficheiro 3D para um elemento ou produto é, sem dúvida, uma inovação com o potencial de modificar muito a

forma como os produtos são desenvolvidos e produzidos, bem como a forma como os produtos são fornecidos e entregues aos utilizadores finais.

Ainda ao nível das forças, assume particular importância a possibilidade de produzir protótipos funcionais e séries curtas. As capacidades atuais das tecnologias MA (incluindo a capacidade de fabricar em materiais metálicos e plásticos de alta resistência) conferem-lhe a possibilidade de produzir protótipos totalmente funcionais, bem como pequenas séries de produtos, que beneficiam da possibilidade de não requerer ferramentas ou investimentos adicionais para viabilizar sua produção.

Por sua vez, é possível adaptar estas tecnologias a diferentes usos. Embora a existência de uma ampla gama de diferentes tecnologias MA possa ser interpretada como uma fraqueza (porque impede uma compreensão global e conhecimento dessas tecnologias por potenciais utilizadores), permite várias opções de implementação, dependendo dos usos planeados.

Ainda neste contexto, estas tecnologia permitem a diminuição do tempo e custo de desenvolvimento de novos produtos, uma vez que, a capacidade de fabricar protótipos e modelos totalmente funcionais sem a necessidade de desenvolver ferramentas ou de realizar investimentos adicionais torna possível passar “do desenho ao produto” com custo reduzido e em tempo recorde, em comparação com as tecnologias tradicionais. Isso implica, não apenas, uma otimização dos processos de desenvolvimento do produto, mas também aumenta indiretamente o número de iterações ao nível do design e, portanto, a capacidade de um produto ser melhorado entre versões sucessivas.

Importa ainda destacar, neste âmbito, que ao permitir a produção offsite, a tecnologia MA possibilita um maior número de opções quer ao nível de produção e planeamento, quer ao nível da distribuição e logística.

Uma das principais ameaças ao desenvolvimento desta tecnologia é a insuficiência ou mesmo ausência de experiência. A escassez de casos de sucesso de conhecimento público e amplamente divulgados, adequadamente descritos, reconhecíveis e suficientemente representativos para o setor, pode, sem dúvida, atuar como um obstáculo à implementação da tecnologia.

Por sua vez, embora se verifique atualmente um trabalho extensivo ao nível normativo (Capítulo 3.3), uma parte significativa das normas ainda se encontra em desenvolvimento, o que aliado à ausência de experiência na sua implementação pode gerar desconfiança, na medida em que os potenciais utilizadores podem requerer uma garantia de qualidade e confiabilidade dos elementos e produtos produzidos com essas tecnologias. Ainda associado à questão da normalização surge a preocupação acrescida com impacto na saúde e segurança, uma vez que o processo tecnológico associado à MA abrange cenários de exposição perigosos, associados, por exemplo, à emissão de nanopartículas, pela extrusão de termoplásticos ou outros materiais, que podem ser perigosas para a saúde; à utilização de

matérias-primas cuja composição química possa ser nociva para a saúde; à utilização de pós metálicos como o titânio e o alumínio, os quais podem entrar em combustão originando um incêndio (Araújo et al. 2017).

Uma outra preocupação reside na ausência de guias e orientações, uma vez que, embora as vantagens desta tecnologia sejam incontestáveis, o seu uso (principalmente nas aplicações mais ambiciosas) exige o conhecimento dos princípios que norteiam os processos de planeamento e produção de cada tecnologia. Mais uma vez, a ausência de orientação tecnológica sobre o aplicativo atua como um limite ao seu crescimento.

No que concerne aos ficheiros 3D que constituem a base da produção de qualquer elemento ou produto através desta tecnologia, a ausência de uma regulamentação específica ou uma perceção clara dos direitos de propriedade intelectual e industrial associados, poderá originar uma violação sistemática dos direitos de propriedade.

Uma outra ameaça associada a esta tecnologia está relacionada com a ausência de pessoal especializado e qualificado em áreas relacionadas. Uma vez que esta tecnologia ainda se encontra num estágio inicial de implementação, quer o número de profissionais com competências nesta área, quer o número de programas de formação ou cursos específicos (direcionados para a indústria) são muito reduzidos.

Por fim, tendo em consideração as várias oportunidades, aquela que merece especial destaque corresponde ao desenvolvimento de produtos novos e/ou melhorados. A possibilidade de produzir bens com, praticamente, qualquer geometria, num curto espaço de tempo, aumenta significativamente o leque de possibilidades no desenvolvimento de novos produtos, os quais, sem as limitações anteriores, podem apresentar características que inviabilizam recorrer à produção através das tecnologias tradicionais. Por outro lado, a rapidez com que essas tecnologias permitem implementar processos de desenvolvimento de produtos, bem como as opções de customização, cria as condições necessárias para um ambiente propício à investigação e desenvolvimento.

Ainda ao nível das oportunidades associadas a esta tecnologia, a possibilidade de transformar um qualquer local num centro de produção, confere-lhe um alto potencial para a otimização dos processos logísticos.

Por sua vez, a possibilidade de o usuário final utilizar diretamente esta solução tecnológica, confere o potencial não só de improvisar e definir soluções para problemas, mas também de produzi-los.

Esta ferramenta permite ainda novas formas de interação com fornecedores e colaboradores, uma vez que, ao permitir que a produção de um item ou produto seja transferida para quase qualquer parte do mundo, vai redefinir a relação fornecedor-cliente, dando origem a situações em que o proprietário de

um produto pode até mesmo entregar (sob condições contratuais) o modelo 3D de um produto a um cliente, de forma que seja o próprio cliente quem o fabrica.

## 2.7 Contexto Mundial da MA

### 2.7.1 Os desenvolvimentos mais recentes ao nível da MA

Ao longo dos subcapítulos precedentes foram apresentados vários dos desenvolvimentos mais recentes relacionados com esta tecnologia.

Para além das apostas mais recentes ao nível do setor espacial, surge também uma nova geração associada à MA: a impressão 4D

A tecnologia 4D permite que os materiais possam ser deformados e voltar ao formato original, criando uma “memória”. A intenção é criar objetos adaptáveis e inteligentes que respondam a estímulos como calor, água, corrente elétrica, som ou pressão.

O Laboratório *Self Assembly* do MIT (*Instituto de Tecnologia de Massachusetts*) já desenvolveu objetos que se montam sozinhos, acreditando que esta tecnologia poderá ser aplicada em diversas áreas, tais como a biologia, a robótica, os transportes, a construção, as artes, entre outras (MIT's International Design Center, 2012).

Com a evolução desta tecnologia podemos imaginar tubagens que se expandem ou contraem conforme o volume de água, móveis que se montam sozinhos ao serem tirados da caixa, implantes que se adaptam ao corpo do paciente ou roupa que se adapta às condições climáticas. Tratam-se de desenhos inteligentes que reagem ao ambiente e se transformam com o tempo.

Estes novos objetos tridimensionais “vivos” podem ser produzidos em impressoras 3D, utilizando materiais inteligentes, que podem ser programados para mudarem de forma, cor ou tamanho ao receberem um estímulo externo.

É o caso de resinas de hidrogel, polímeros ativos ou, inclusive, tecidos vivos. São impressos em 3D com um desenho específico que, com o tempo, e ao entrar em contato com a humidade, a luz, a pressão ou a temperatura, entre outros fatores, evoluem até alcançarem o acabamento final previsto.

O precursor dessa tecnologia emergente é o especialista em informática Skylar Tibbits, fundador e codiretor do Self-Assembly Lab do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Esta tecnologia foi apresentada ao mundo em 2013.

Algumas aplicações:

- Em 2015 uma equipa médica da Universidade do Michigan salvou a vida de três bebês que apresentavam problemas respiratórios colocando um implante impresso em 4D. Este objeto de policaprolactona, concebido à medida de cada paciente, foi pensado para adaptar o seu tamanho ao crescimento dos bebês e dissolver-se quando for desnecessário.
- O exército dos Estados Unidos, está a testar uniformes que mudam de cor de acordo com o ambiente, ou que regulam a transpiração dependendo do pulso do soldado ou da temperatura ambiente.
- A NASA desenvolveu um tecido metálico inteligente com a impressão 4D, o qual já é utilizado nas roupas de astronauta pela sua natureza isolante.
- A Airbus está a testar materiais que reagem ao calor para arrefecer os motores dos aviões.

Seguem ainda alguns dos “*case studies*” mais conhecidos, que permitem traçar a evolução internacional desta tecnologia:

- Ao nível da indústria aeroespacial, destaca-se o projeto desenvolvido pela empresa Frazer-Nash (Renishaw, 2020), que visou produzir um novo produto para o seu cliente Kwikbolt recorrendo à MA: produção de um fixador temporário, utilizado para alinhar os painéis da aeronave e a fuselagem durante a montagem. A utilização da tecnologia MA permite que a produção seja mais célere e com custos inferiores, quando comparado aos métodos tradicionais (tecnologia subtrativa).
- Ao nível educacional, destaca-se o projeto F1 in Schools (*F1 in Schools Global - Home*, n.d.), que consiste numa competição internacional STEM (ciência, tecnologia, engenharia, matemática) para crianças em idade escolar (dos 11 aos 19 anos), na qual grupos de 3 a 6 alunos devem projetar e produzir um carro em miniatura a partir de um Modelo F1 oficial usando ferramentas de design CAD/CAM. Neste âmbito, a empresa fundadora e patrocinadora desta competição – Denford – disponibiliza os equipamentos necessário para o evento, incluindo equipamentos de MA (utilizando filamentos de ABS e PLA) para imprimir, por exemplo, asas dianteiras e traseiras, rodas, sistemas de suporte de roda e outros componentes, permitindo que as equipas aperfeiçoem e ajustem os designs dos seus carros.
- Ao nível das suas aplicações na medicina, destaca-se um projeto desenvolvido pela empresa de engenharia global Renishaw (Renishaw, 2019), em colaboração com duas outras empresas tecnológicas, que visou demonstrar a capacidade da tecnologia de MA, utilizando o metal, para produzir implantes vertebrais leves que reproduzem as propriedades mecânicas do osso. Neste âmbito, e enquanto parceira do projeto, a organização *Irish Manufacturing Research* (IMR)

projetou e fabricou uma série de implantes vertebrais representativos. Este estudo e prova de conceito permitiu demonstrar que a MA pode ser utilizada para produzir implantes vertebrais com características que não são possíveis alcançar com os métodos convencionais de produção.

- Passando ainda pela indústria pesada destaca-se o projeto desenvolvido pela empresa Wassara (Renishaw, 2018). Esta é uma empresa que se dedica à extração de minério, sediada na Suécia, utilizando uma série de produtos inovadores capazes de extrair minerais com mínimo impacto ambiental. A tecnologia de Wassara usa água de alta pressão para acionar o martelo *Down-The-Hole* (DTH). O desafio é reduzir o custo e aumentar a confiabilidade da produção do componente da caixa deslizante de um martelo DTH, aplicando a tecnologia de MA.

Mais recentemente, no seguimento do surto pandémico associado à doença COVID19, a tecnologia MA assumiu um papel crucial na resposta rápida aos mais variados tipos de solicitações, ao conseguir imprimir componentes, nomeadamente viseiras, peças para ventiladores, maçanetas de portas, suportes para doseadores de gel, etc., em materiais poliméricos como o PLA, ABS, ASA, PC, poliamidas, e muitos outros (Brem, Viardot, and Nylund 2021; Roßmann et al. 2021). Com a uma propagação exponencial da COVID19, a indústria tradicional de fabrico de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) deixou de conseguir dar resposta às solicitações dos centros hospitalares, lares, retalho entre outro. Face a este cenário, motivados por um dever cívico e conscientes das exigências colocadas ao sistema nacional de saúde, e aos seus profissionais, inúmeras empresas, universidades e outras entidades que dispunham de impressoras 3D reuniram todos os esforços para a produção massiva destes equipamentos e componentes.

### **2.7.2 Delineando e Avaliando os Aspetos Estratégicos/Económicos**

O incremento verificado, nos últimos anos, ao nível da utilização de processos de MA, coloca o crescimento global da indústria da MA nos 17.4% em 2016 (menos que em 2015 (25.9%)), como consequência do abrandamento do crescimento dos dois principais fornecedores de sistemas de MA, que em conjunto representam US\$1.31 mil milhões) e um mercado avaliado em US\$6.063 mil milhões. Dos valores retirados dos relatórios do exercício de 2016, publicados pela 3D Systems e Stratasys, estes serão muito provavelmente os dois fornecedores mais referenciados. De acordo com as informações financeiras disponíveis ao público, a 3D Systems registou uma receita total consolidada de US\$633 milhões em 2016. Por seu lado, a Stratasys informou que sua receita para o ano fiscal de 2016 foi de US\$ 672,5 milhões (Wohlers Report, 2017).

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento do número de estudos que abordam esta temática, classificando-a como um novo paradigma na indústria. Um artigo de 2015 da McKinsey Quarterly, intitulado “*3-D printing takes shape*” (Cohen, D., Sargeant, M. and Somers, 2014) alerta para o facto de esta tecnologia estar a registar uma rápida evolução, pelo que é crucial que os dirigentes e executivos das empresas se preparem para as cinco disrupções que acompanharão este processo, designadamente:

1. Aceleração do ciclo de desenvolvimento do produto
2. Novas estratégias de fabrico
3. Mudanças nas fontes de lucro
4. Novas capacidades/recursos
5. Competidores disruptivos

Um outro estudo, “*3D printing Disrupts Manufacturing*” *How Economies of One Create New Rules of Competition*” (Petrick & Simpson, 2013), aborda esta dinâmica, afirmando que a integração desta tecnologia pode representar uma rutura para a indústria da manufatura, tão profunda quanto a Revolução Industrial.

### **2.7.3 Aspetos Normativos associados à MA**

De acordo com um estudo realizado pelo *Joint Research Centre* (Scapolo et al., 2015), a importância das normas está associada ao facto de fornecerem requisitos, especificações, diretrizes ou características que podem ser utilizadas de forma consistente para garantir que materiais, produtos, processos e serviços sejam adequados ao seu propósito. Por sua vez, a atividade normativa contribui para remover barreiras técnicas ao comércio, orientando a indústria para novos mercados e potenciando o crescimento económico. Ainda neste contexto, as normas facilitam e promovem a transferência de tecnologia e contribuem para garantir a segurança dos produtos, influenciando o dia-a-dia dos cidadãos.

De uma forma geral, a atividade normativa permite:

- i. Promover a qualidade de produtos, processos e serviços;
- ii. Promover melhorias na qualidade de vida, segurança, saúde e proteção do meio ambiente,
- iii. Promover melhorias ao nível da utilização económica de materiais, energia e recursos humanos,
- iv. Facilitar a produção e troca de bens e uma comunicação clara e inequívoca entre todas as partes interessadas, de uma forma adequada, tendo como referência documentos legalmente vinculativos;

- v. Promover o comércio internacional através da remoção de barreiras causadas pela diversidade de práticas nacionais e eficiência industrial.

Quando nos concentramos na tecnologia de MA e sua utilização para fins industriais, destaca-se a importância de uma aplicação e repetibilidade consistentes, de modo a garantir um desenvolvimento generalizado e/ou com uma qualidade superior.

No seguimento do exposto, é crucial apostar na normalização de cada elemento da tecnologia MA (materiais, equipamentos e processos), uma vez que a ausência de normas ao nível dos materiais, processos e produtos dificulta uma produção com elevados níveis de qualidade.

Contudo, a evolução tecnológica que se tem verificado neste setor, aliada à crescente adequação/utilização de novos materiais, processos e técnicas, tem dificultado o desenvolvimento de normas de MA. Por sua vez, esta dificuldade está também associada à ausência de um repositório único onde seja concentrada a grande diversidade de informação que vai sendo produzida sobre metodologias MA, bem como a identificação das autoridades responsáveis.

Atualmente, os principais órgãos de normalização ativos mundialmente ao nível da MA, com Comitês Técnicos (TCs) relacionados, são:

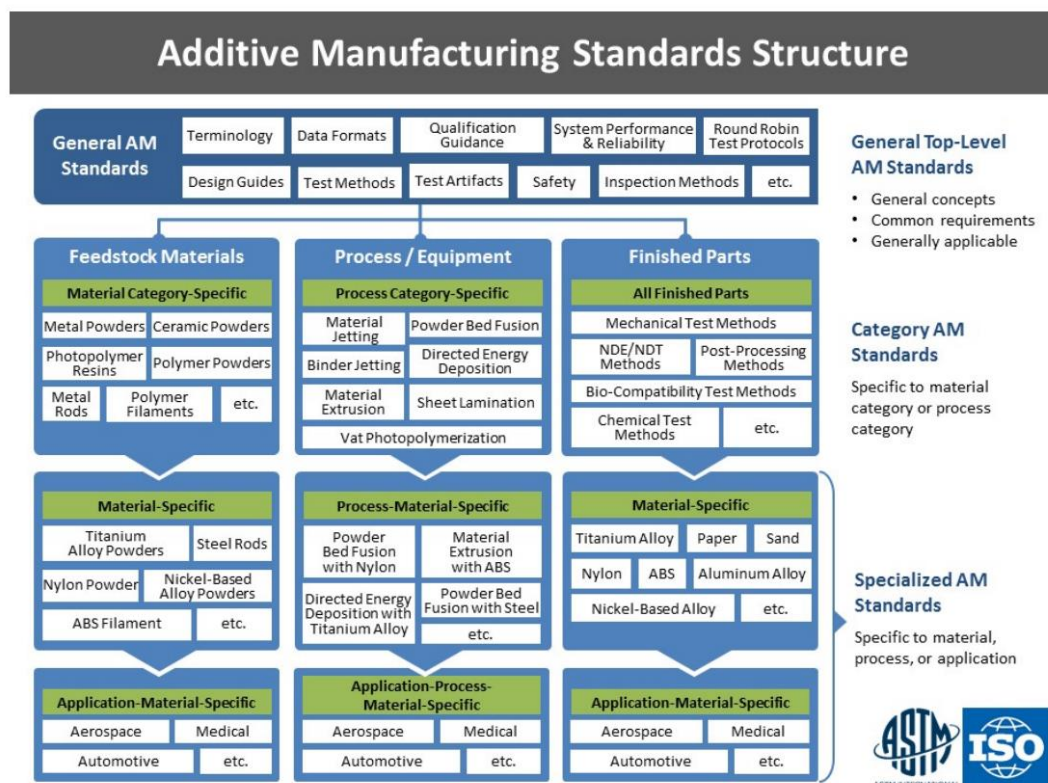
- ASTM - American Society for Testing and Materials (F 42),
- ISO - International Organization for Standardization (ISO/TC 261)
- CEN CENELEC - European Committee for Standardization / European Committee for Electrotechnical Standardization (CEN/TC 438).

Em 2011 a ISO e a ASTM (ASTM International, 2010) assinaram um acordo de cooperação, entre as duas organizações, para adotar e desenvolver em conjunto as normas internacionais que atendam ao mercado global no campo da MA. O objetivo deste acordo foi eliminar a duplicação de esforços e maximizar os benefícios nomeadamente: duvidas, confiabilidade, aceitação e segurança dos produtos e impulsionar ainda mais a tecnologia no mercado.

O comité técnico da ISO – ISO/TC 261 acompanha a realização desta atividade normativa e tendo em consideração a informação disponibilizada no seu website (ISO Standards, 2011) reúne já 19 normas publicadas e 31 normas em desenvolvimento. Ao nível dos seus membros contam já com a participação de 25 países, aos quais se soma 8 países que optaram pelo estatuto de observadores.

Com o crescimento exponencial da MA, enquanto processo produtivo, a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) verificou a necessidade de criar um comité, em 2009, para definir as normas associadas, o qual se designou F42. Estas normas abrangem desde as matérias-primas, processo/equipamento, até aos componentes acabados (Figura 2.8).

Figura 2.8 - Áreas de interesse para a ASTM F42/ISO TC 261



Fonte: ISO/TC 261 - Additive Manufacturing, BUSINESS PLAN 2020 (ISO Standards, 2020)

Existem ainda diversos Organismos de Normalização Europeus que se dedicam a atividade normativa, como a AFNOR em França, com o comité UNM 920 de Fabricação Aditiva; a VDI na Alemanha com GPL Committee on Production and Logistics; a AENOR em Espanha com o comité AEN/CTN 116 incluindo a AM; a SIS na Suécia com o comité SIS/TK 563; e a BSI no Reino Unido com o comité AMT/8.

As normas MA são apresentadas de acordo com seguinte estrutura hierárquica:

- Normas Gerais - conceitos gerais específicos e requisitos comuns
- Normas por Categoria - requisitos específicos do processo ou categorias de material
- Normas Especializadas - requisitos específicos para um material, processo ou aplicação

As 19 normas publicadas pelo comité ISO/ TC 261 (em fevereiro de 2021) relacionadas com a MA estão identificadas na tabela seguinte:

**Tabela 2.4 - Normas Publicadas pelo Comité ISO/ TC 261**

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>
ISO 17296-2:2015	Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock
ISO 17296-3:2014	Additive manufacturing — General principles — Part 3: Main characteristics and corresponding test methods
ISO 27547-1:2010	Plastics — Preparation of test specimens of thermoplastic materials using mouldless technologies — Part 1: General principles, and laser sintering of test specimens
ISO/ASTM 52900:2015	Additive manufacturing — General principles — Terminology
ISO/ASTM 52901:2017	Additive manufacturing — General principles — Requirements for purchased AM parts
ISO/ASTM 52902:2019	Additive manufacturing — Test artifacts — Geometric capability assessment of additive manufacturing systems
ISO/ASTM 52903-1:2020	Additive manufacturing — Material extrusion-based additive manufacturing of plastic materials — Part 1: Feedstock materials
ISO/ASTM 52903-2:2020	Additive manufacturing — Material extrusion-based additive manufacturing of plastic materials — Part 2: Process equipment
ISO/ASTM 52904:2019	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications
ISO/ASTM 52907:2019	Additive manufacturing — Feedstock materials — Methods to characterize metal powders
ISO/ASTM 52910:2018	Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations
ISO/ASTM 52911-1:2019	Additive manufacturing — Design — Part 1: Laser-based powder bed fusion of metals
ISO/ASTM 52911-2:2019	Additive manufacturing — Design — Part 2: Laser-based powder bed fusion of polymers
ISO/ASTM TR 52912:2020	Additive manufacturing — Design — Functionally graded additive manufacturing
ISO/ASTM 52915:2020	Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2
ISO/ASTM 52921:2013	Standard terminology for additive manufacturing — Coordinate systems and test methodologies

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO
ISO/ASTM 52941:2020	Additive manufacturing — System performance and reliability — Acceptance tests for laser metal powder-bed fusion machines for metallic materials for aerospace application
ISO/ASTM 52942:2020	Additive manufacturing — Qualification principles — Qualifying machine operators of laser metal powder bed fusion machines and equipment used in aerospace applications
ISO/ASTM 52950:2021	Additive manufacturing — General principles — Overview of data processing

Fonte: website da ISO/TC 261 (ISO Standards, 2021)

Relativamente às normas em desenvolvimento no comité ISO/TC261 (ISO Standards, 2021):

**Tabela 2.5 - Normas em Desenvolvimento pelo Comité ISO/TC 261**

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO
ISO/ASTM DIS 52900	Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary
ISO/ASTM AWI 52902	Additive manufacturing — Test artifacts — Geometric capability assessment of additive manufacturing systems
ISO/ASTM AWI TR 52905	Additive manufacturing of metals — Non-destructive testing and evaluation — Defect detection in parts
ISO/ASTM CD TR 52906	Additive manufacturing — Non-destructive testing — Intentionally seeding flaws in parts
ISO/ASTM AWI 52908	Additive manufacturing of metals — post-processing methods — Quality assurance and post processing of powder bed fusion
ISO/ASTM AWI 52909	Additive manufacturing — Finished part properties — Orientation and location dependence of mechanical properties for metal powder bed fusion
ISO/ASTM AWI 52910	Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations
ISO/ASTM AWI 52911-3	Additive manufacturing — Design — Part 3: Electron beam powder bed fusion of metals
ISO/ASTM CD 52916	Additive manufacturing — Data formats — Standard specification for optimized medical image data
ISO/ASTM AWI 52917	Additive manufacturing — Round Robin Testing — Guidance for conducting Round Robin studies

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESIGNAÇÃO</b>
ISO/ASTM CD TR 52918	Additive manufacturing — Data formats — File format support, ecosystem and evolutions
ISO/ASTM AWI 52919-1	Additive manufacturing — Test method of sand mold for metalcasting — Part 1: Mechanical properties
ISO/ASTM AWI 52919-2	Additive manufacturing — Test method of sand mold for metalcasting — Part 2: Physical properties
ISO/ASTM CD 52920	Additive manufacturing — Qualification principles — Quality requirements for industrial additive manufacturing sites
ISO/ASTM DIS 52921	Additive manufacturing — General principles — Standard practice for part positioning, coordinates and orientation
ISO/ASTM DIS 52924	Additive manufacturing — Qualification principles — Classification of part properties for additive manufacturing of polymer parts
ISO/ASTM DIS 52925	Additive manufacturing processes — Laser-based powder bed fusion of polymer parts (PBF-LB/P) — Qualification of materials
ISO/ASTM CD 52926-1	Additive manufacturing of metals — Qualification principles — Part 1: General qualification of machine operators
ISO/ASTM CD 52926-2	Additive manufacturing of metals — Qualification principles — Part 2: Qualification of machine operators for PBF-LB
ISO/ASTM CD 52926-3	Additive manufacturing of metals — Qualification principles — Part 3: Qualification of machine operators for PBF-EB
ISO/ASTM CD 52926-4	Additive manufacturing of metals — Qualification principles — Part 4: Qualification of machine operators for DED-LB
ISO/ASTM CD 52926-5	Additive manufacturing of metals — Qualification principles — Part 5: Qualification of machine operators for DED-Arc
ISO/ASTM AWI 52928	Additive Manufacturing of Metals — Feedstock Materials — Powder Life Cycle Management
ISO/ASTM DTS 52930	Additive Manufacturing — Qualification principles — Installation, operation and performance (IQ/OQ/PQ) of PBF-LB equipment
ISO/ASTM CD 52931	Additive manufacturing — Environmental health and safety — Standard guideline for use of metallic materials
ISO/ASTM CD 52932	Additive manufacturing — Environmental health and safety — Standard test method for determination of particle emission rates from desktop 3D printers using material extrusion
ISO/ASTM WD 52933	Additive manufacturing — Environment, health and safety — Consideration for the reduction of hazardous substances emitted during the operation of the non-industrial ME type 3D printer in workplaces, and corresponding test method

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO
ISO/ASTM AWI 52935	Additive manufacturing — Qualification principles — Qualification of coordinators for metallic parts production
ISO/ASTM CD 52936-1	Additive manufacturing — Qualification principles — Laser-based powder bed fusion of polymers — Part 1: General principles, preparation of test specimens
ISO/ASTM AWI 52937	Additive Manufacturing of metals — Qualification principles — Qualification of designers
ISO/ASTM AWI 52938-1	Additive manufacturing of metals — Environment, health and safety — Part 1: Safety requirements for PBF-LB machines

Fonte: website da ISO/TC 261 (ISO 2021)

Apesar de se constatar que estamos perante um processo dinâmico, ainda há muito a fazer neste âmbito.

No dia 13 de junho de 2018 foi realizado em Bruxelas o *Workshop on Standardization for Digitising European Industry*. No decorrer deste workshop, foi explicado em que consistiu a criação do Grupo de Trabalho *DEI – MSP Working Group on standardisation in support of Digitising European Industry*. Este WG resulta de uma colaboração entre a *Multistakeholder Platform on ICT Standardisation (MSP)* e a *Digitising European Industry initiative (DEI)*, que reúne ministérios nacionais e ações relacionadas com a digitalização da indústria, organizações europeias de normalização, parcerias público-privadas e associações europeias relevantes.

Este Grupo de Trabalho tem como principais objetivos:

- Identificar, como ponto de partida, as necessidades ao nível normativo no setor da manufatura, que podem servir como um modelo para outros domínios no futuro.
- Mapear as atividades em desenvolvimento realizadas pelas ESOs (European standard organizations), SDOs (Standards Developing Organizations), Fora e consórcioscooperação trilateral DE / IT / FR, outros projetos de investigação, etc., relevantes para a digitalização da indústria europeia.
- Desenvolver um modelo para a sincronização das diversas atividades de normalização, ao nível dos Estados-Membros, ao nível europeu e num contexto global.
- Propor um primeiro *roadmap* que tenha em conta o trabalho existente, como os *roadmaps* nacionais de normalização e outros trabalhos relacionados, e especificar ações concretas que possam ser incluídas no *Rolling Plan for ICT Standardisation*.

Tendo em consideração as normas publicadas, é possível traçar os principais domínios de aplicação atuais:

- Especificações dos diferentes tipos de materiais a utilizar em diferentes categorias de processos;
- Especificações do material e requisitos para as peças produzidas por combinações de diferentes processos e materiais;
- Requisitos para os testes efetuados a peças produzidas por MA (principais características associadas à qualidade das peças; procedimentos de teste mais apropriados; recomendações quanto ao âmbito e conteúdo dos contratos de teste e fornecimento);
- Requisitos para a aquisição de peças fabricadas por AM (diretrizes para os elementos a serem trocados entre o cliente e o fornecedor da peça no momento do pedido, incluindo informações do pedido do cliente, dados de definição da peça, requisitos da matéria-prima, características e propriedades da peça final, requisitos de inspeção e métodos de aceitação de peças).

As últimas pesquisas e abordagens que têm sido desenvolvidas no âmbito da MA, têm-se concentrado nas temáticas seguintes, as quais já se encontram em fase de aprovação:

- Diretrizes para avaliação da capacidade geométrica de sistemas de MA;
- Especificações para fabricação aditiva de materiais plásticos com base em extrusão de materiais;
- Especificações técnicas de pós metálicos;
- Diretrizes para fusão de metais em pó com base em laser;
- Diretrizes para fusão de polímeros em pó à base de laser.

Segue a identificação de algumas das temáticas que se encontram em estudo e desenvolvimento:

- Ensaios não destrutivos de produtos fabricados com aditivos;
- Métodos de pós-processamento - especificação para garantia de qualidade e pós-processamento de peças metálicas;
- Método de teste-padrão para aceitação de máquinas de fusão em pó para materiais metálicos para aplicação aeroespacial;

- Diretrizes para operadores de máquinas qualificadas - máquinas de laser à base de pó em aplicações aeroespaciais.

## 2.8 Caracterização da Indústria do Setor Metalúrgico e Metalomecânico

O setor Metalúrgico e Metalomecânico (MM) tem vindo a ocupar, ao longo das últimas décadas, uma posição central no crescimento económico das economias modernas, caracterizando-se por uma forte intensidade exportadora. É, assim, responsável por uma fatia muito significativa do comércio internacional.

Em Portugal, este setor é representado por cerca de 22 mil empresas, empregando cerca de 240 mil pessoas, com um peso considerável nas exportações, sendo um dos principais fornecedores da indústria transformadora, representando 18% do PIB e estando presente em mais de 200 mercados internacionais (Pinto 2019).

De acordo com a análise setorial realizada pelo Banco de Portugal (2019), referente à situação económico-financeira da indústria metalomecânica no ano de 2017, destaca-se o seguinte:

- as grandes empresas representavam 1% das empresas da indústria metalomecânica, eram responsáveis por 56% do volume de negócios do setor e 32% das pessoas ao serviço. Por sua vez, 72% das empresas do setor eram microempresas e 27% eram pequenas e médias empresas, estas últimas responsáveis por 40% do volume de negócios e por 56% das pessoas ao serviço
- a indústria metalomecânica compreendia, em 2017, mais de 10 mil empresas, 175 mil pessoas ao serviços e 25 mil milhões de euros volume de negócios. Entre 2016 e 2017, o peso do setor no total das empresas não se alterou em termos do número de empresas, mas aumentou 0,4 p.p. e 0,1 p.p., respetivamente, em termos do volume de negócios e do número de pessoas ao serviço.
- Em 2017, 61% do volume de negócios da indústria metalomecânica teve origem no mercado externo.

É ainda possível elencar outros indicadores que permitem confirmar a relevância do setor MM, quando comparado com a média da indústria transformadora nacional e internacional (Moniz, 2018b), os quais são identificados e analisados no ponto seguinte (Subcapítulo 5.1).

Para efeitos desta análise, e seguindo o definido pelo Banco de Portugal (2019), considerou-se que a indústria do setor MM compreende as Divisões 24 (“Indústrias metalúrgicas de base”), 25 (“Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos”), 27 (“Fabricação de equipamento eléctrico”), 28 (“Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e”), 29 (“Fabricação de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis”) e 30 (“Fabricação de outro equipamento de transporte”) da CAE-Rev.3, atividades económicas inseridas no âmbito das indústrias transformadoras (Secção C da CAE-Rev.3).

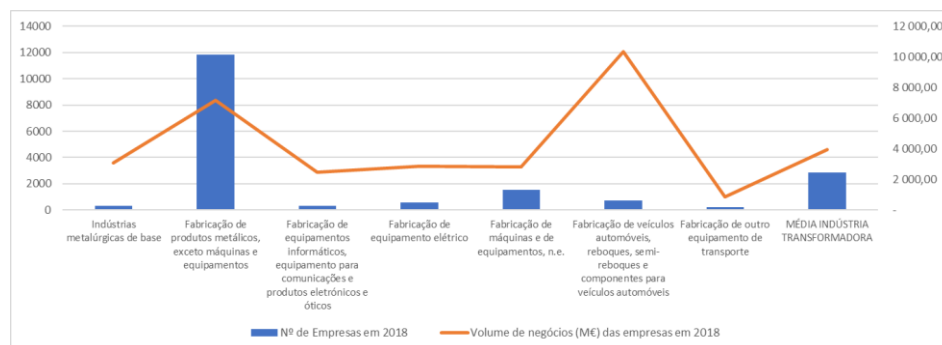
## 2.8.1 Principais indicadores do setor

### 2.8.1.1 Número de empresas e volume de negócios

Começando por analisar a distribuição do número empresas por subsector (Gráfico 2.5) a indústria dedicada ao fabrico de produtos metálicos (exceto máquinas e equipamentos) é a que apresenta maior destaque, mesmo quando comparada com a média da indústria transformadora. Numa perspetiva internacional (países da OCDE) é possível confirmar esta tendência (Gráfico 2.6).

Relativamente ao Volume de Negócios, e tal como seria de esperar, o destaque vai para a indústria dedicada ao fabrico de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis (Gráfico 2.5). Do ponto de vista internacional (países da OCDE) o cenário mantém-se (Gráfico 2.7).

**Gráfico 2.5 - Nº de empresas do Setor MM em 2018 e respetivo Volume de Negócios (M€)**



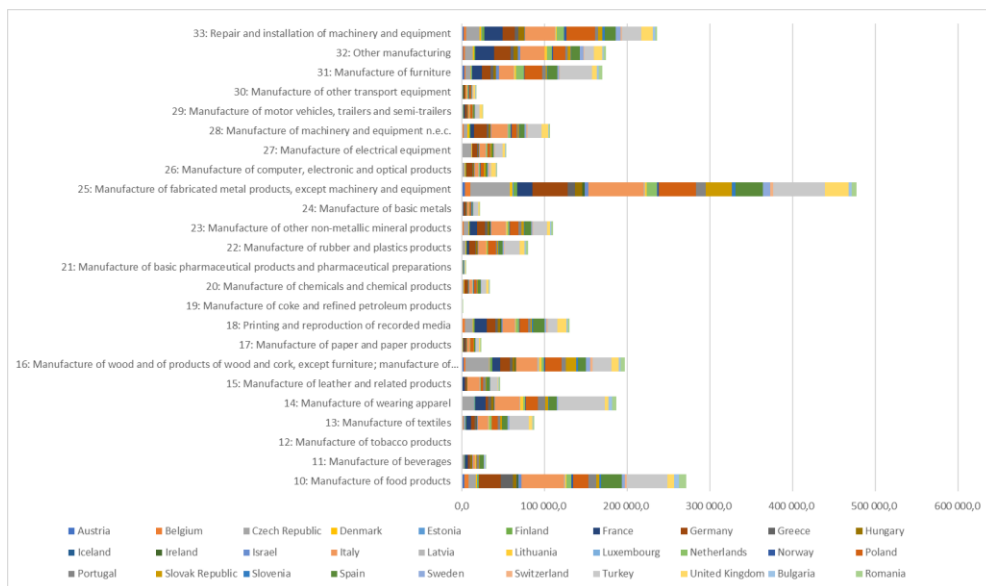
Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Sistema de contas integradas das empresas

Estes dados permitem confirmar a importância que o setor automóvel assume na economia nacional, constituindo-se como um dos principais setores em termos de criação riqueza, emprego e inovação tecnológica. Atualmente, este setor enfrenta importantes desafios, associados à transição para uma

economia de baixo carbono, contudo, estes desafios acabam por incutir a transformação destas empresas, quer ao nível das competências dos seus técnicos, quer ao nível dos processos produtivos ou da própria gestão, no sentido de garantir a sua competitividade.

**Gráfico 2.6 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: N.º de empresas por setor de atividade (2018)**

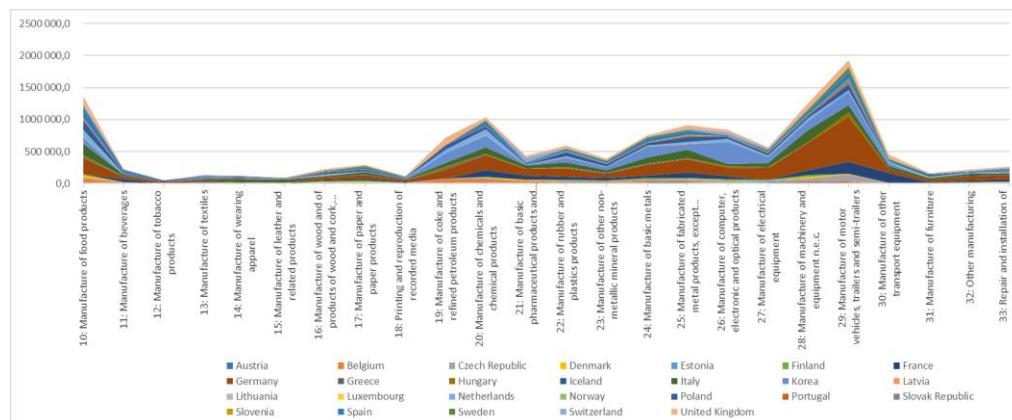


Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | SDBS Structural Business Statistics (Dados extraídos em 12 de abril de 2021)

Analisando o número de empresas por setor nos países que fazem parte da OCDE, verificamos que o setor mais representativo é o dedicada ao fabrico de produtos metálicos (exceto máquinas e equipamentos).

**Gráfico 2.7 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: Volume de Negócios em 2018 (PPP USD)**



Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | SDBS Structural Business Statistics (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

A análise do gráfico relativo ao volume de negócios por setor vem confirmar a importância do setor MM nos países da OCDE, verificando-se um maior volume de negócios nas indústrias de produtos metálicos, máquinas e equipamentos e indústria automóvel, que no fundo constituem a base do setor MM. Estes valores estão em consonância com os resultados observados também em Portugal.

O número de empresas, o volume de negócios e a importância para a indústria nacional e internacional que os gráficos acima refletem, corroboram a escolha deste setor para o este estudo.

### 2.8.1.2 Produção industrial

Após análise do Relatório do Instituto Nacional de Estatística sobre a produção industrial em 2019 (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2020) foram identificados os três produtos com maior peso, ao nível do volume de negócio, por subsector, bem como o peso de cada um no mercado nacional e internacional (Tabela 2.6).

**Tabela 2.6 - Lista dos três produtos com maior peso no Volume de Negócio por subsector, bem como o peso de cada um no mercado nacional e internacional**

SubSetor MM	Produtos com maior peso no Volume de Negócio	Peso no Mercado Nacional (%)	Peso no Mercado Internacional (%)	Peso no PIB Nacional (%)
Indústrias metalúrgicas de base	Siderurgia e fabricação de ferro-ligas	38%	62% (59% destinado ao Mercado Europeu)	0,58%
	Obtenção e primeira transformação de alumínio	58%	42% (41% destinado ao Mercado Europeu)	0,15%

O papel da Manufatura Aditiva na competitividade das empresas do setor Metalúrgico e Metalomecânico num contexto de mudança

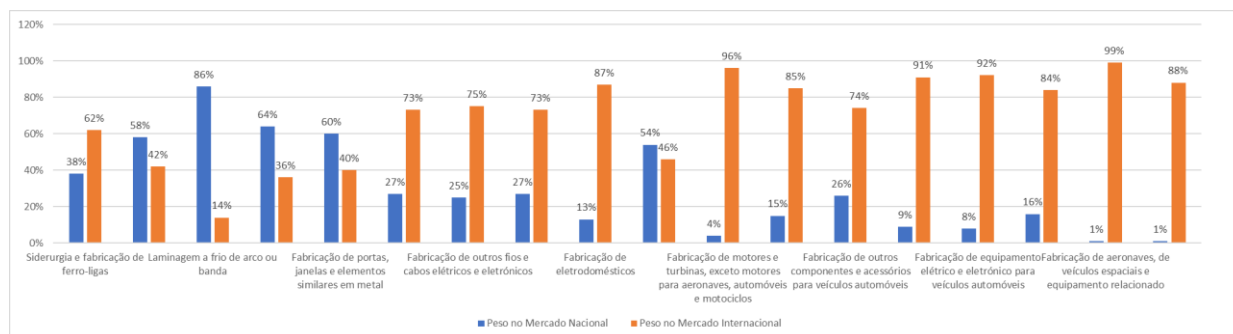
SubSetor MM	Produtos com maior peso no Volume de Negócio	Peso no Mercado Nacional (%)	Peso no Mercado Internacional (%)	Peso no PIB Nacional (%)
	Laminagem a frio de arco ou banda	86%	14% (8% destinado ao Mercado Europeu)	0,13%
Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos	Fabricação de estruturas de construções metálicas	64%	36% (28% destinado ao Mercado Europeu)	0,50%
	Fabricação de portas, janelas e elementos similares em metal	60%	40% (36% destinado ao Mercado Europeu)	0,40%
	Fabricação de moldes metálicos	27%	73% (62% destinado ao Mercado Europeu)	0,36%
Fabricação de equipamento elétrico	Fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos	25%	75% (49% destinado ao Mercado Europeu)	0,27%
	Fabricação de material de distribuição e de controlo para instalações elétricas	27%	73% (59% destinado ao Mercado Europeu)	0,19%
	Fabricação de eletrodomésticos	13%	87% (65% destinado ao Mercado Europeu)	0,13%
Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e.	Fabricação de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação	54%	46% (33% destinado ao Mercado Europeu)	0,18%
	Fabricação de motores e turbinas, exceto motores para aeronaves, automóveis e motociclos	4%	96% (92% destinado ao Mercado Europeu)	0,17%
	Fabricação de outras torneiras e válvulas	15%	85% (75% destinado ao Mercado Europeu)	0,13%
Fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis	Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis	26%	74% (67% destinado ao Mercado Europeu)	3,01%
	Fabricação de veículos automóveis	9%	91% (90% destinado ao Mercado Europeu)	2,22%
	Fabricação de equipamento elétrico e eletrónico para veículos automóveis	8%	92% (87% destinado ao Mercado Europeu)	0,11%
Fabricação de outro equipamento de transporte	Fabricação de bicicletas e veículos para inválidos	16%	84% (81% destinado ao Mercado Europeu)	0,17%
	Fabricação de aeronaves, de veículos espaciais e equipamento relacionado	1%	99% (31% destinado ao Mercado Europeu)	0,09%
	Construção de embarcações de recreio e de desporto	1%	88% (29% destinado ao Mercado Europeu)	0,06%
MM Total	-	-	-	8,85%

Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Estatísticas da Produção Industrial – 2019

Transpondo estes dados para uma representação gráfica:

**Gráfico 2.8 – Produtos com maior peso no Volume de Negócio das empresas do setor MM nos Mercados Nacional e Internacional**



Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Estatísticas da Produção Industrial – 2019

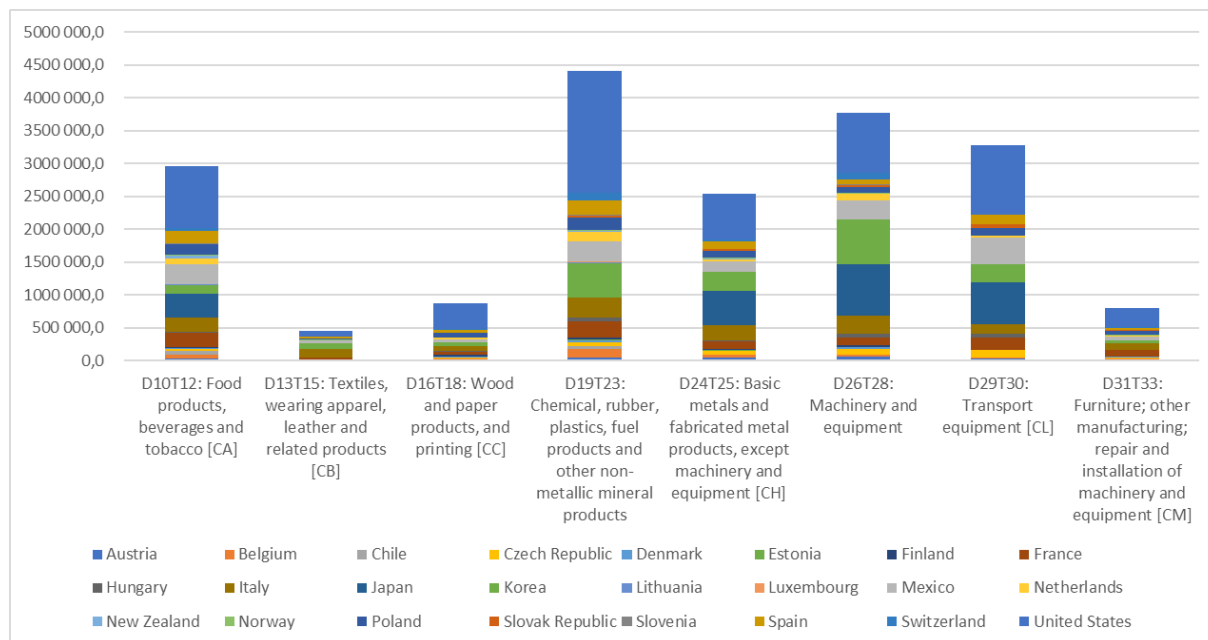
A análise deste gráfico permite constatar que os bens produzidos pelas indústrias mais tradicionais se destinam maioritariamente ao mercado nacional, e que, pelo contrário, quando temos em consideração os bens produzidos por empresas associadas aos setores automóvel e aeronáutico, o peso do mercado internacional é claramente superior.

Ainda neste âmbito, analisando a representatividade destes produtos ao nível do PIB nacional, é possível constatar:

- O grande destaque da indústria de fabricação de componentes para o setor automóvel;
- No seu conjunto, estes produtos representam 9% no PIB nacional (2019).

Numa perspetiva internacional, quando analisada a produção da indústria associada ao setor MM dos países da OCDE (Gráfico 2.9), o destaque vai para a produção de máquinas e equipamentos.

**Gráfico 2.9 – Produção da Indústria Transformadora dos países da OCDE, em 2018 (PPP USD, preços correntes)**



Fonte: Elaboração própria

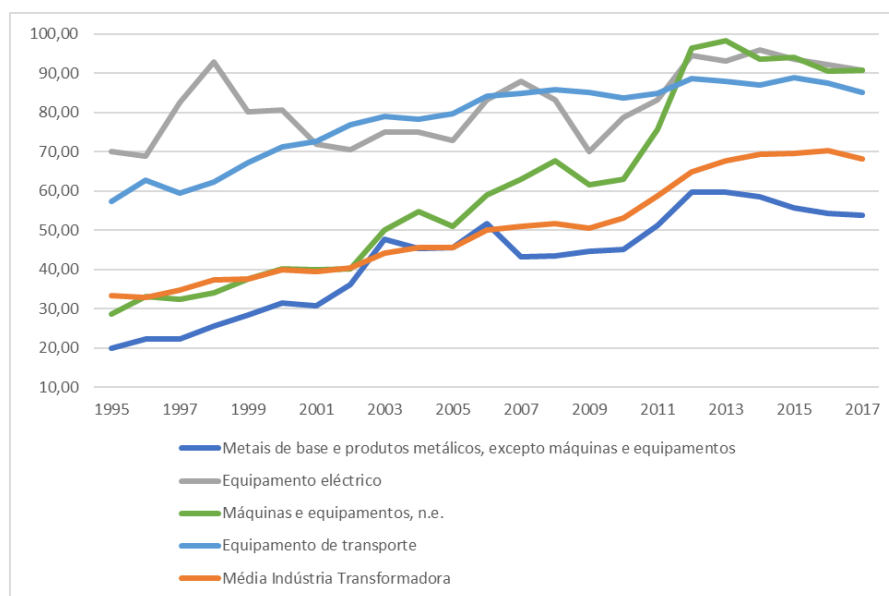
Fonte de Dados: OECD.Stat | STAN Industrial Analysis (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

A indústria de fabrico de máquinas e equipamentos (subsetor do setor MM) representa um papel crucial na dinâmica inovadora do setor MM, dado que é um subsetor extremamente competitivo onde o fator inovação é absolutamente decisivo, as empresas que constituem este subsetor competem em mercados nicho, onde a competitividade e produtividade dependem em grande parte do parque tecnológico disponível, das tecnologias utilizadas, na rapidez de entrega dos produtos, na capacidade de responder ao que os clientes querem, tendo em conta todas as variáveis que o novo paradigma da Indústria 4.0 apresenta, o foco no ecodesign, na economia circular, na sustentabilidade e que por sua vez é decisivo para a competitividade e crescimento do setor.

### 2.8.1.3 Intensidade exportadora

De acordo com os dados estatísticos disponibilizados pelo INE é possível constatar uma evolução positiva ao nível da intensidade exportadora neste setor entre 1995 e 2017 (Gráfico 2.10), com especial destaque para a indústria de máquinas e equipamentos que tem vindo a registar, desde 2002, um crescimento acentuado e superior à média da indústria transformadora.

**Gráfico 2.10 - Intensidade Exportadora: Setor MM e média Indústria Transformadora**



Fonte: Elaboração própria

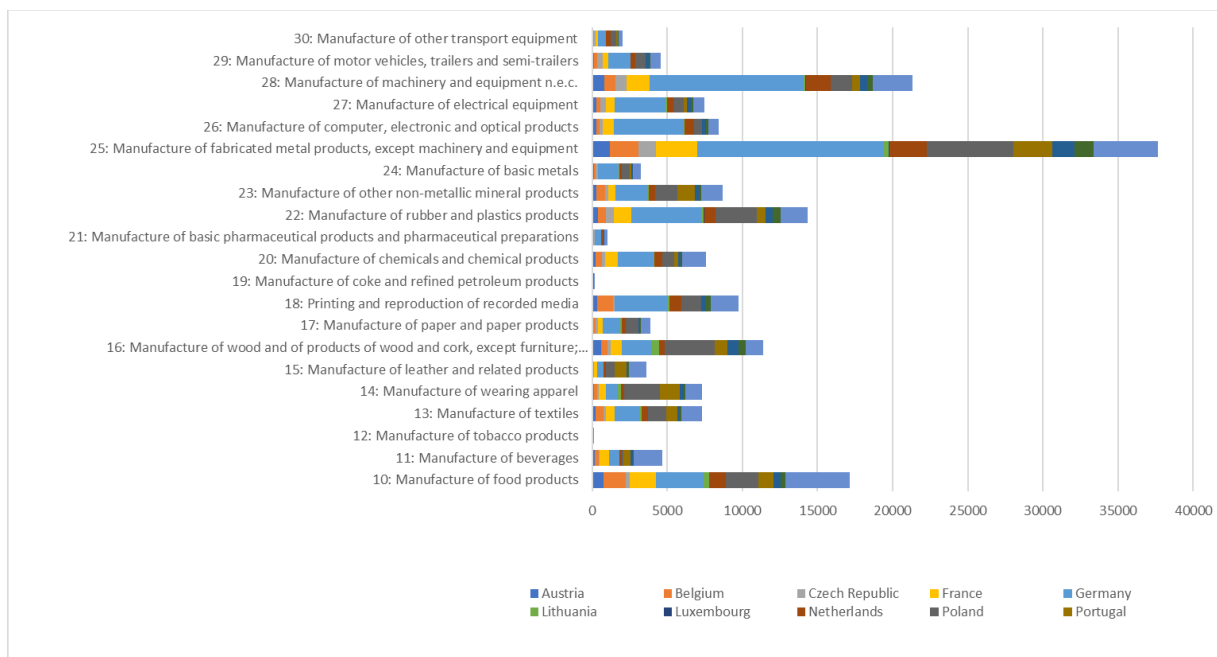
Fontes de Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

Ainda no que concerne às exportações, e de acordo com vários testemunhos (aicep Portugal Global 2018) este setor tem, efetivamente, registado um crescimento sólido e significativo ao nível nacional e internacional, sendo por isso caracterizado como o setor português que mais contribui para as exportações do nosso país. Apesar de o mercado europeu continuar a ser o principal cliente desta indústria, as empresas portuguesas estão cada vez mais ativas e a trabalhar na diversificação dos seus mercados de exportação. Este setor tem vindo a distinguir-se pela qualidade, inovação, fiabilidade e capacidade de adaptação, sendo por isso reconhecido internacionalmente pela relação qualidade/preço dos seus produtos.

Quando analisado o cenário internacional (países da OCDE) ao nível da indústria transformadora, é possível verificar que (Gráficos 2.11 e 2.12):

- no que concerne ao número de empresas exportadoras, destacam-se os setores dos produtos metálicos, máquinas e equipamentos;
- relativamente à intensidade exportadora, confirma-se o peso dos setores associados aos equipamentos de transporte, máquinas e equipamentos e metais de base;
- analisando a posição de Portugal relativamente aos restantes países, é possível confirmar o peso da indústria de produtos metálicos, quer ao nível do número de empresas exportadoras, quer ao nível do volume de exportações, no total apresentado pela indústria transformadora;
- quando comparado com os resultados apresentados pelos países vizinhos, como a Espanha e a França, constata-se que estes países estão mais focados na exportação proveniente da indústria de produção de veículos motorizados, reboques e semirreboques.

**Gráfico 2.11 – Indústria Transformadora nos países da OCDE: N.º de Empresas Exportadoras, por setor de atividade (2018)**

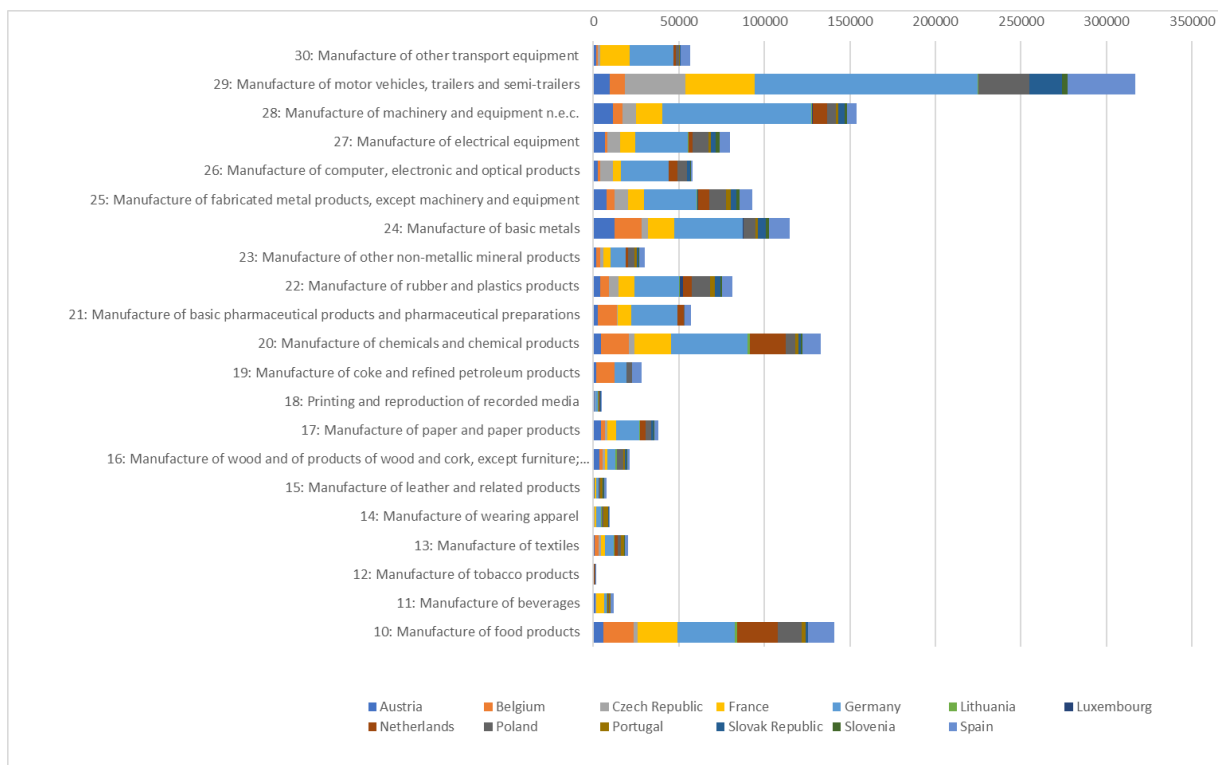


Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat (Dados extraídos em 12 de abril de 2021)

Analisando os subsectores da indústria transformadora dos países que compõem a OCDE, destaca-se claramente a fabricação de produtos metálicos com exceção de máquinas e equipamentos com o maior número de empresas exportadoras.

**Gráfico 2.12 - Intensidade Exportadora da Indústria Transformadora nos países da OCDE, por setor de atividade, em 2018 (Milhões de USD)**



Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat (Dados extraídos em 12 de abril de 2021)

Nos últimos anos a indústria transformadora tem vindo a assumir um papel preponderante na evolução da economia, quer em termos nacionais, quer internacionais, sendo o seu peso reforçado pelos resultados ao nível do comércio externo. Esta é uma realidade partilhada pelos países da OCDE, merecendo especial destaque as indústrias que integram o setor metalomecânico, tal como está explanado nos gráficos 2.11 e 2.12.

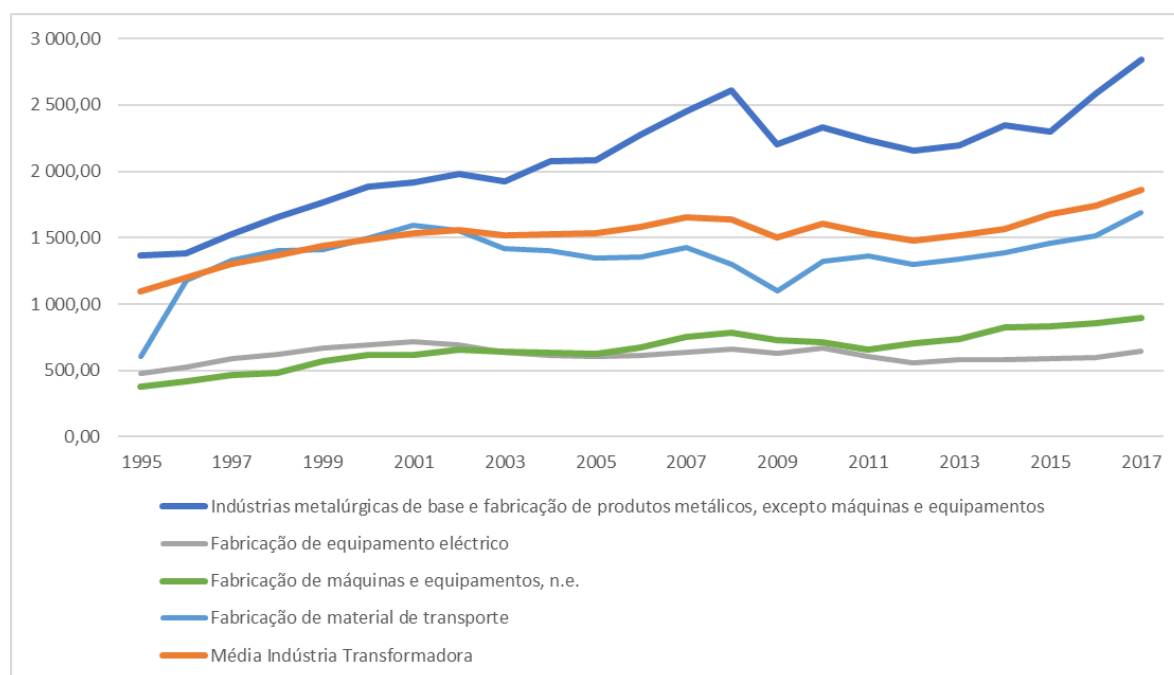
Comparando os dados retirados dos gráficos relativos ao conjunto de países que compõem a OCDE com os dados de Portugal, podemos concluir que os dados seguem as mesmas tendências, quer em

número de empresas por subsetor, quer em volume de produção e de negócios, apontando os diversos subsectores que constituem o setor MM como um dos mais importantes para a economia mundial.

#### 2.8.1.4 Valor acrescentado bruto

Quando analisada a evolução ao nível do Valor Acrescentado Bruto (VAB) na indústria do setor MM (Gráfico 2.13), verifica-se, desde 1995, um crescimento gradual, com algumas flutuações entre 2003 e 2011, seguindo-se um período de crescimento muito significativo (2012 a 2017). Por sua vez, ao analisar e comparar a evolução do VAB das indústrias metalúrgicas de base e das restantes indústrias associadas ao setor MM, constata-se que o primeiro é muito mais elevado, estando relacionado com a produção de grandes séries e produção contínua, o que não é possível no caso das indústrias de máquinas e equipamentos.

**Gráfico 2.13 - Valor Acrescentado Bruto: Setor MM e média da Indústria Transformadora (base=2016; Milhões de Euros)**



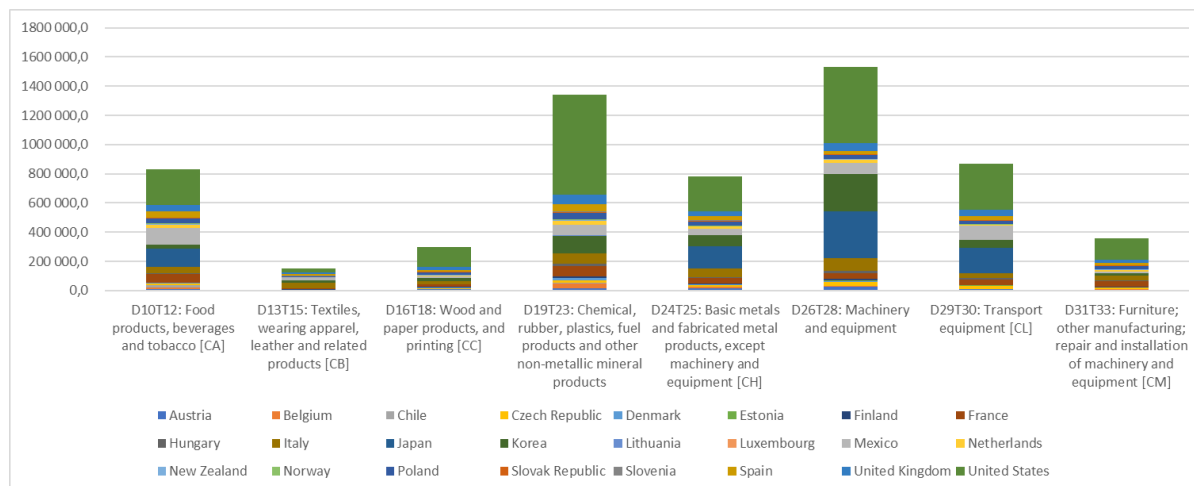
Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

Ainda neste período (1995-2017) constata-se que, quando comparado com a média da indústria transformadora, o VAB da indústria metalúrgica de base é sempre superior, registando um crescimento muito seguinte face à média no período de 2005 a 2008.

Numa perspetiva internacional (países da OCDE), quando analisada a distribuição do VAB pelos vários setores da indústria transformadora (Gráfico 2.14) é possível verificar o forte contributo das empresas produtoras de máquinas e equipamentos.

**Gráfico 2.14 - Valor Acrescentado Bruto da Indústria Transformadora nos Países da OCDE, em 2018 (PPP USD, Milhões)**



Fonte: Elaboração própria

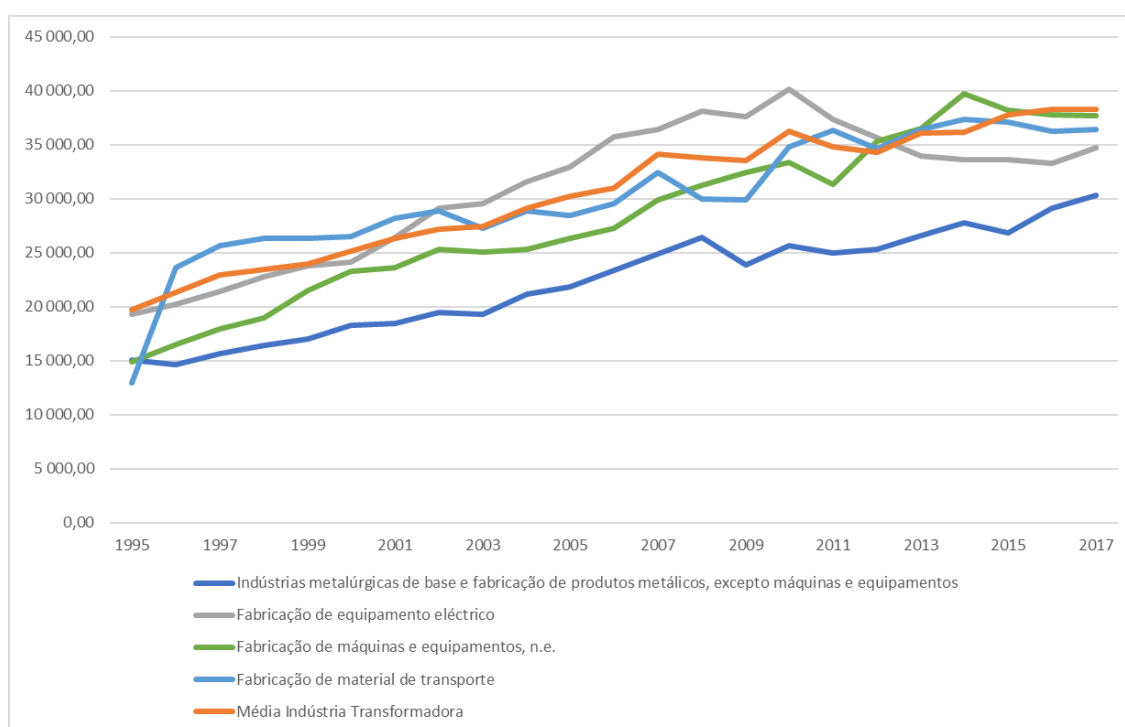
Fonte de Dados: OECD.Stat | STAN Industrial Analysis (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

Uma vez mais é possível confirmar a importância da indústria que se dedica à produção de máquinas e equipamentos para a produção de riqueza de um país, ou de um conjunto alargado de países. Trata-se de um setor-chave para a economia, que desenvolve e fornece máquinas e equipamentos que permitirão transformar os processos produtivos, podendo ainda incorporar e acrescentar conhecimento tecnológico, com impacto significativo na produtividade e na eficiência destes processos.

### 2.8.1.5 Produtividade aparente do trabalho

No que concerne à produtividade aparente do trabalho, esta indústria regista igualmente um crescimento muito significativo entre 1995 e 2017 (Gráfico 2.15), estando associado, sobretudo, à introdução de melhorias nos processos de produção (automatização).

**Gráfico 2.15 - Produtividade aparente do trabalho: Setor MM e média da Indústria Transformadora (Rácio, Euros)**



Fonte: Elaboração própria

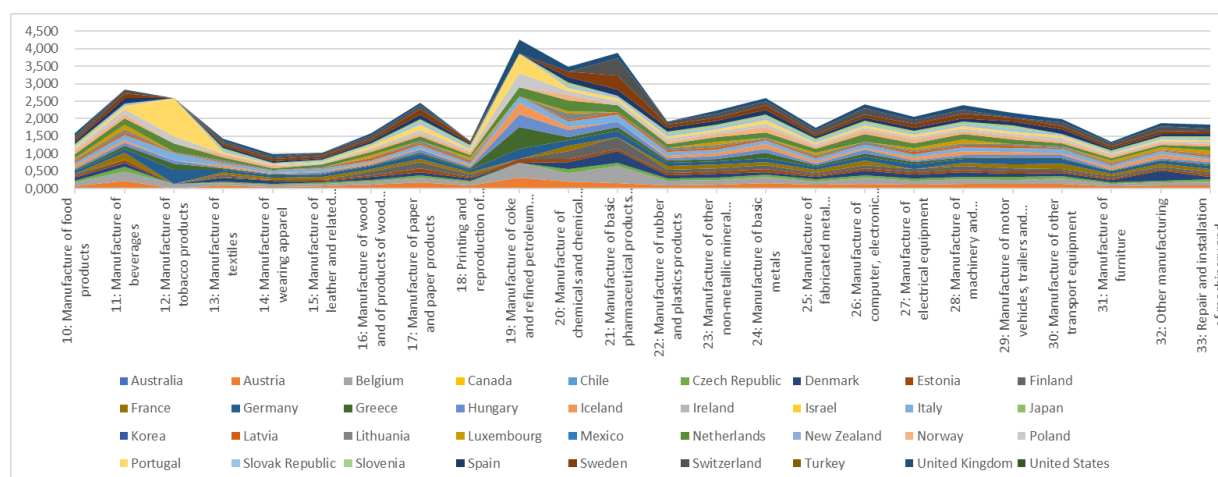
Fonte dos Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

É ainda curioso verificar, contrariamente ao verificado no gráfico anterior onde a indústria metalúrgica de base era aquela que registava um VAB superior, no que concerne à produtividade aparente do trabalho esta indústria é a que apresenta os valores mais baixos ao longo do período em análise, estando as restantes indústrias em análise muito próximas da média da indústria transformadora, e registando-se ainda que algumas delas chegam a ultrapassar, em alguns momentos, esta média.

Tendo em consideração a produtividade do trabalho no cenário internacional (países da OCDE), a desagregação sectorial (Gráfico 2.16) permite verificar que ao nível da indústria transformadora as empresas associadas à produção petrolífera são aquelas que apresentam uma produtividade superior. As empresas produtoras de máquinas e equipamentos também merecem destaque nesta análise.

Quando comparado com os países da OCDE, Portugal acompanha a tendência associada à indústria petrolífera, apresentando um resultado com uma expressão reduzida para a indústria produtora de máquinas e equipamentos. Por sua vez, quando analisado o comportamento de países vizinhos, como a Espanha e a França, os resultados apresentados revelam uma posição inversa, ou seja, aqui é a indústria produtora de máquinas e equipamentos que merece destaque.

**Gráfico 2.16 – Produtividade do Trabalho na Indústria Transformadora nos países da OCDE, em 2018 (valor acrescentado por pessoa no ativo, PPP USD)**



Fonte: Elaboração própria

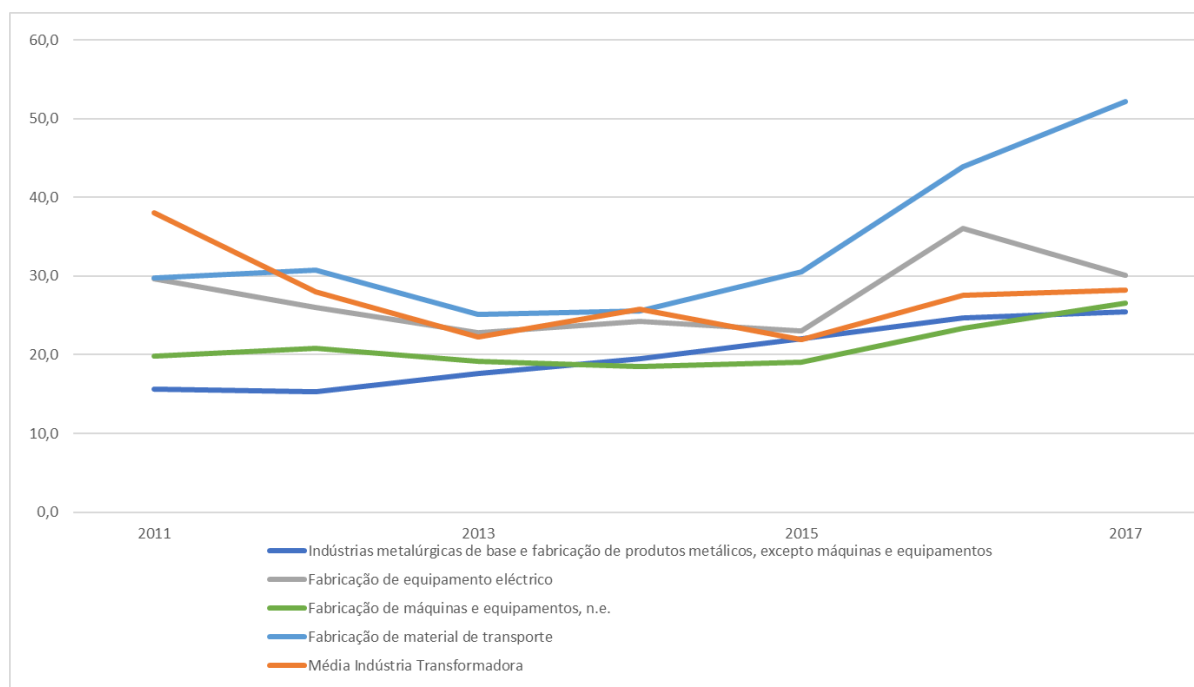
Fonte de Dados: OECD.Stat | SDBS Structural Business Statistics (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

Os resultados deste gráfico são idênticos aos que se verificam em Portugal, surgindo a indústria petrolífera e química como aquelas com maior produtividade do trabalho na indústria transformadora, apontado a que as restantes indústrias ainda precisam de melhorar significativamente a sua produtividade.

### 2.8.1.6 Taxa de investimento

Importa, ainda, destacar a evolução registada, nas últimas décadas, ao nível da taxa de investimento, enquanto indicador do esforço realizado por uma empresa para aumentar a sua capacidade de produção, tendo-se verificado, ao nível da indústria metalúrgica de base, algumas flutuações com alguns períodos de crescimento e outros de decréscimo, embora pouco significativos, sendo que esta tendência se altera a partir de 2012, registando-se um crescimento considerável (Gráfico 2.17), aproximando-se da média da indústria transformadora, em resposta à crise de 2008-2010, decorrente da aposta em processos de inovação dos produtos e processos no sentido de ganhar competitividade nos mercados atuais e alcançar novos mercados.

**Gráfico 2.17 - Taxa de Investimento: Setor MM e média da Indústria Transformadora**



Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

Analisando em concreto o setor MM, podemos verificar um decréscimo do investimento generalizado até 2014, resultado da crise financeira iniciada em 2010 e um crescimento do investimento a partir de 2015 com a recuperação económica e aumento das exportações.

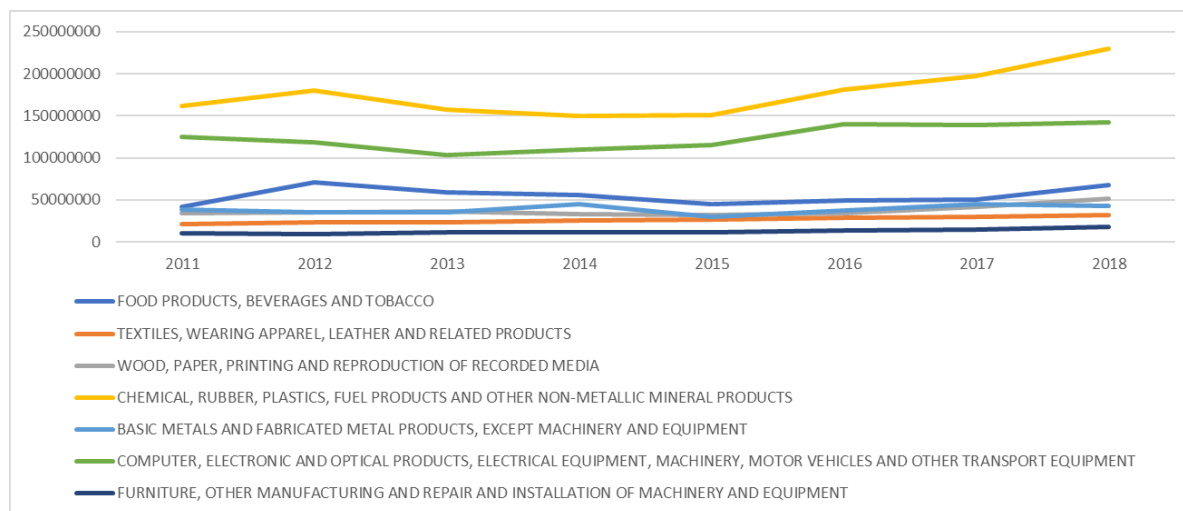
Por sua vez, quando analisamos as restantes indústrias, as mesmas registam flutuações muito significativas. Centrando a atenção na indústria de fabricação de máquinas e equipamentos, entre 1995 e 2013 o esforço de investimento foi sempre superior ao registado na indústria metalúrgica de base, e até 2017 foi sempre superior à média da indústria transformadora. Entre 1999 e 2013 o investimento neste setor registou um decréscimo acentuado, contudo, a partir de 2015 constata-se uma recuperação significativa.

Analisando, agora, do ponto de vista internacional (países da OCDE), o investimento bruto realizado pela indústria transformadora,

### 2.8.1.7 Investimento em I&D

Centrado agora a atenção no investimento em Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (I&D) na indústria da manufatura, temos os seguintes indicadores:

**Gráfico 2.18 – Evolução do Investimento em I&D na indústria Transformadora em Portugal (Euros)**

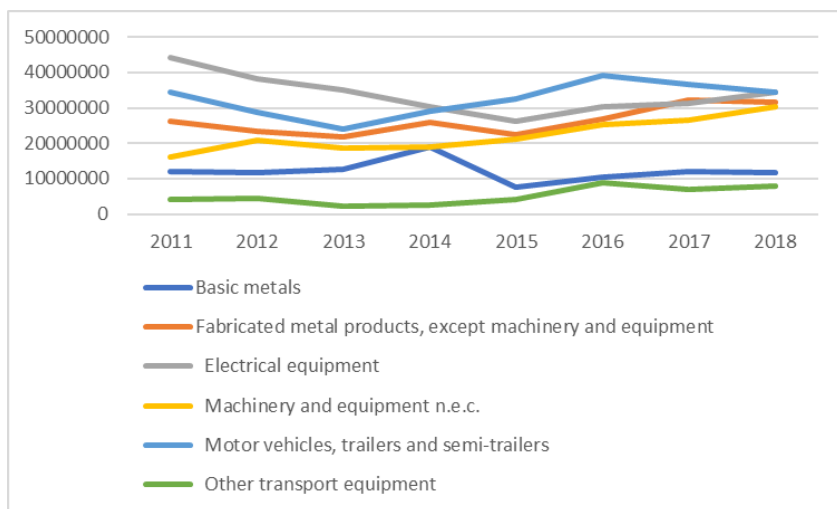


Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) database (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

A análise do gráfico da evolução do investimento em I&D na indústria transformadora em Portugal, no fundo vem comprovar a importância deste investimento no aumento da produtividade. De facto, o setor químico e de combustíveis surge como a indústria que mais investiu em I&D o que se traduz também no subsector com maior produtividade do trabalho como já foi referido anteriormente. A análise deste gráfico aponta também para a necessidade de aumentar este tipo de investimento no setor MM.

**Gráfico 2.19 - Evolução do Investimento em I&D na indústria do setor MM em Portugal (Euros)**

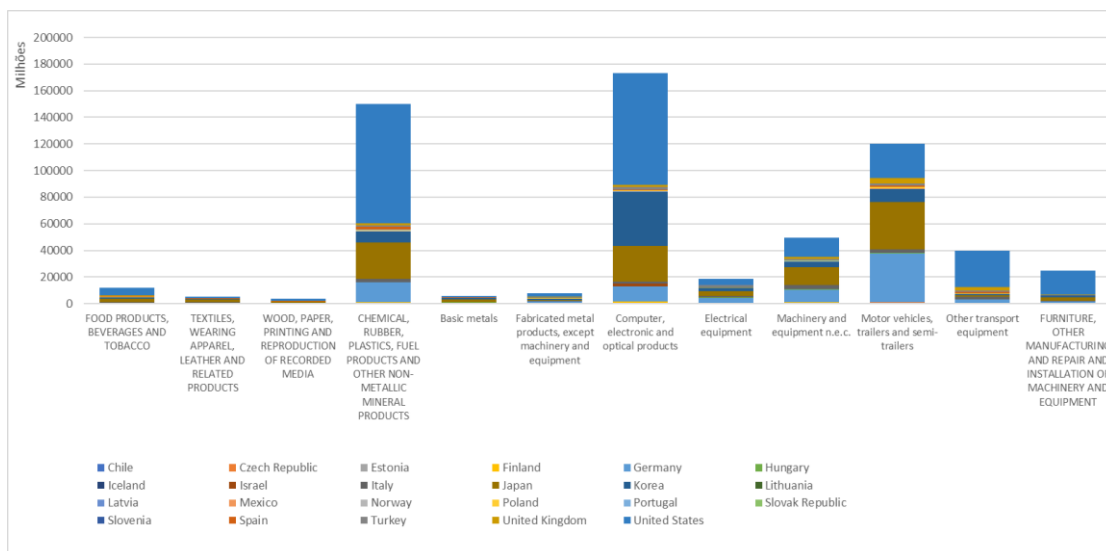


Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) database (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

Quando analisada a evolução do investimento em I&D nas empresas do setor MM, verifica-se que aquelas que se dedicam à produção de bens em metal, máquinas e equipamentos têm registado, ao longo dos últimos anos, um aumento do seu investimento em atividades de I&D.

**Gráfico 2.20 - Investimento em I&D (2018) na indústria Transformadora dos países da OCDE (PPP USD, preços correntes)**



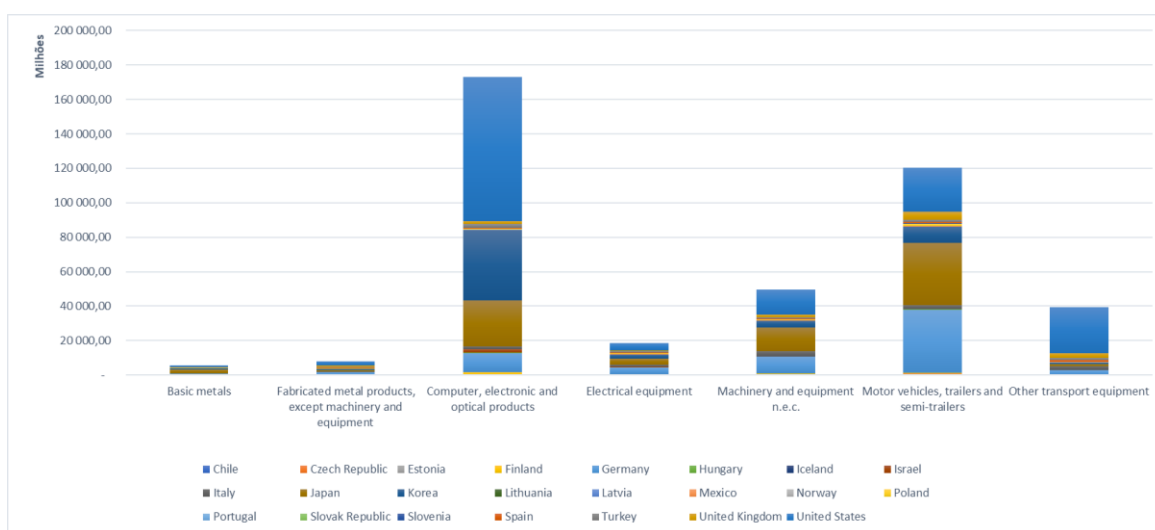
Fonte:

Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) database (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

Do ponto de vista internacional (países da OCDE), o cenário é semelhante, contudo aqui o maior destaque vai para a indústria de produção de produtos eletrónicos, seguindo-se a indústria química, plásticos e petrolífera. Analisando os dados apresentados por Portugal e pela vizinha Espanha, constata-se que estes também acompanham a tendência, ou seja, também para estes países a indústria química, plásticos e petrolífera é responsável pela maior fatia do investimento em I&D.

**Gráfico 2.21 - Investimento em I&D na indústria do setor MM nos países da OCDE, em 2018 (Milhões de USD)**



Fonte: Elaboração própria

Fonte de Dados: OECD.Stat | Analytical Business Enterprise Research and Development (ANBERD) database (Dados extraídos em 14 de abril de 2021)

Ainda neste âmbito, centrando agora a análise na indústria do setor MM, para além da área dos produtos eletrónicos, constata-se que as empresas que fabricam veículos a motor, máquinas e equipamentos também investem, de forma expressiva, em atividades de I&D. Quando analisados os valores apresentados por Portugal e pelos vizinhos Espanha e Reino Unido, constata-se que a aposta se concentra na indústria de produção de veículos a motor, reboques e semirreboques.

Ao longo das últimas décadas tem sido cada vez mais perceptível o investimento, por parte da indústria transformadora, em atividades de investigação e desenvolvimento, o que se tem traduzido em inovações sustentáveis capazes de reduzir o prazo associado ao retorno financeiro. O investimento intensivo em investigação e desenvolvimento tecnológico, ditado pela nova economia baseada no conhecimento, é assim considerado como uma arma competitiva para fazer face à concorrência técnica e tecnológica presente no setor industrial. No seio da indústria transformadora verificamos que os

setores que se destacam são, sobretudo, os setores cuja atividade está estreitamente relacionada e dependente da investigação, inovação e desenvolvimento tecnológico, designadamente, os setores associados à produção de máquinas e equipamentos, componentes eletrónicos e setor automóvel.

### **2.8.2 Principais desafios que se colocam ao setor**

O setor MM marca presença em praticamente todos os elos nucleares da cadeia de valor dos bens manufacturados, desde a metalurgia de base até ao material de transporte, passando pelos produtos metálicos, pelos equipamentos eléctricos e pelas máquinas não eléctricas e bens de equipamento. Constitui, deste modo, um sector muito heterogéneo, integrando um conjunto alargado de atividades industriais e uma enorme diversidade de produtos. Por sua vez, o sector MM assume características muito particulares, uma vez que grande parte das atividades que o compõem produzem bens de suporte à produção dos demais sectores (bens intermédios e bens de capital) e/ou bens duradouros para consumo final.

O principal desafio em 2019 para o setor MM consistiu em manter a trajetória ascendente que marcou os últimos anos relativamente aos mercados internacionais. O ano de 2019 ficou também marcado por cinco recordes mensais, com o mês de maio a representar "o melhor de sempre" para o setor com cerca de 1.884 milhões de euros em exportações (Agência Lusa, 2020).

Por sua vez, o ano de 2020 será marcado por uma mudança significativa ao nível das prioridades estratégicas das empresas do setor, decorrente do surto pandémico, associado à doença COVID19 e dos consequentes efeitos devastadores que terá na economia mundial.

As empresas estão a experienciar um momento atípico e difícil, marcado por severas limitações, que colocam em causa a produção, os serviços prestados, os postos de trabalho e a sustentabilidade das próprias empresas. As empresas enfrentam uma ameaça real à sua sobrevivência, pelo que se torna crucial e urgente identificar as principais fragilidades, bem como novas oportunidades, as quais poderão eventualmente estar associadas ao desenvolvimento de novos produtos, a mudanças nos processos produtivos e/ou à aposta em novos modelos de negócio.

Este momento de contenção social exigiu a aplicação de novos métodos de trabalho (teletrabalho) e novos meios para a aquisição de bens e serviços essenciais, o que permitiu confirmar que as empresas não estavam preparadas para a transição para o digital, o que está a dificultar o processo de adaptação, e a comprovar a necessidade de avançar rapidamente para a digitalização. O exemplo mais evidente desta fragilidade é o caso dos problemas registados nas cadeias de abastecimento, cujo aumento significativo na procura originou um elevado congestionamento, inviabilizando, ou atrasando significativamente os serviços prestados. Em sentido inverso, um exemplo de que esta situação

permitted to highlight sectors/technologies, creating opportunities, is the case of MA, where many entities that had 3D printers proceeded to the printing of PPEs - Personal Protective Equipment (visors). The fact of existing online and in open source the STL file, compatible with the software of the printers, allowed it to be easily and quickly processed for printing.

### **2.8.3 Adoção da tecnologia de MA no setor**

De acordo com uma entrevista realizada pela *Manufacturing Engineering* (Rooks, 2017), a qual envolveu a recolha da opinião dos líderes de cinco empresas americanas de referência no Setor MM, a mudança ao nível das tecnologias e materiais utilizados no processo produtivo e a introdução da tecnologia aditiva são identificados como os principais desafios e tendências que se colocam a esta indústria nos próximos cinco anos.

Um outro estudo realizado com empresas do Estados Unidos da América, a cargo da consultora Wohlers (T. T. Wohlers, 2012), permite identificar os principais subsectores onde esta tecnologia está a ser aplicada. Neste âmbito destacam-se, entre outros, o subsector industrial da Fabricação de Produtos Metálicos, exceto Máquinas e Equipamentos, o subsector industrial de Fabricação de Máquinas e Equipamentos, o subsector industrial de Fabricação de Equipamentos Eléctricos de Ótica e o subsector industrial da Fabricação de Veículos Automóveis, Reboques e Semi – Reboques, ou seja, todos os sectores que, tal como referido no início deste Capítulo, compõem o Setor MM.

Mais recentemente, Ingberman e Assavaniwej (2018) constatam que as pequenas empresas (1 a 50 colaboradores) e as grandes empresas (com mais de 1000 colaboradores) são aquelas que mais facilmente têm adotado esta tecnologia, as quais esperam aumentar a capacidade de resposta mantendo os preços competitivos.

Apesar de se registar, nos últimos anos, um aumento significativo da sua utilização/incorporação, a MA tem ainda um longo caminho a percorrer antes de ser amplamente adotada pela indústria do setor MM. Os principais benefícios desta tecnologia relativamente aos processos tradicionais incluem um ciclo de produção mais rápido, custo mais baixo no caso de produções de reduzido volume, redução da complexidade e maior flexibilidade ao nível do design. Esta tecnologia permite que os designers criem geometrias complexas numa única etapa, e os requisitos do projeto não são restringidos pelo processo de produção. A tecnologia é, assim, atrativa para a criação de protótipos e peças altamente customizadas em pequenos lotes. Contudo, tratando-se de uma nova tecnologia para este setor, ainda com reduzido feedback, a existência de estudos que avaliam o impacto real da mesma facilita a tomada de decisão quando estas empresas ponderam adquirir e incorporar esta tecnologia no seu processo produtivo.

## 2.9 A Competitividade e a Estratégia Competitiva

Tal como referido no Capítulo 1.4, a Avaliação da Tecnologia (AT) visa antecipar, identificar e avaliar os possíveis impactos que podem resultar da introdução e utilização de uma nova tecnologia, uma nova aplicação de uma tecnologia existente, ou uma mudança significativa ao nível de sua utilização. Em suma, a AT permite identificar as potenciais consequências de ações relacionadas com o desenvolvimento tecnológico, as quais se podem dividir em dois grupos distintos: as planeadas ou diretas, associadas ao custo/benefício da integração de determinada tecnologia; as não planeadas ou secundárias, relacionadas com os impactos ao nível económico, social, normativo, ambiental e político (Schot et al., 1992). A produtividade, eficiência e competitividade das empresas surgem, assim, como algumas das consequências diretas da introdução e utilização de novas tecnologias (Alic, 1987). A alteração de paradigma industrial, aliado à crescente evolução tecnológica, tem colocado novos desafios às empresas que veem na tecnologia uma forma de avaliar a sua performance e obter vantagens competitivas (Sait et al., 2017).

O conceito de competitividade tem sido objeto de discussão na literatura, desde há várias décadas, aplicando-se quer ao nível das nações, quer ao nível das empresas. Constitui um dos conceitos mais utilizados na economia, mas não existe uma definição única de competitividade.

Este conceito surge na segunda metade do século XVIII, associado às “teorias clássicas do comércio”, impulsionadas pelos pensadores Adam Smith, David Ricardo e John Stuart Mill, as quais procuravam sistematizar o funcionamento do comércio internacional, influenciando, por conseguinte, a economia moderna. Smith, no seguimento de um estudo originalmente publicado em 1776, desenvolveu a teoria das vantagens absolutas como a base do comércio internacional. David Ricardo aprimorou tal teoria, ao acrescentar o conceito de vantagem comparativa, defendendo que mesmo que um país não tenha vantagem absoluta na produção de nenhum bem em relação a outros países, o comércio pode ser mutuamente benéfico, desde que os preços relativos entre os países sejam diferentes quando comparada à inexistência de comércio. Mais tarde, Stuart Mill veio corroborar a noção de David Ricardo relativamente à vantagem comparativa. Contudo, o conceito de vantagem competitiva foi introduzido pela primeira vez por Michael Porter (1990), o qual afirma que o sucesso de uma indústria em termos competitivos é determinado pelas diferenças de valores nacionais, culturais, estruturais económicos, institucionais e históricos.

Atualmente, apesar de omnipresente em estudos económicos, permanecem as dificuldades na definição e medição da competitividade, o que dá origem a grandes variações na identificação dos seus determinantes, no tempo e no espaço. Segundo Porter e Rivkin (2012), a ausência de uma definição única e de um entendimento generalizado pode implicar discursos políticos pouco consensuais, ou mesmo escolhas políticas e empresariais que possam não ser as mais adequadas.

Apesar do argumento de Krugman (1994) de que “os economistas, em geral, não usam a palavra *competitividade*”, após uma análise da literatura é possível constatar e identificar múltiplas e diferentes definições de competitividade, apresentadas por investigadores que procuram esclarecer o conceito. A competitividade tem sido descrita por diversos autores como um conceito teórico, multidimensional e relativo associado ao mecanismo de mercado, podendo compreender diferentes níveis de agregação: supranacional, nacional, regional, local, industrial, setorial (Altomonte et al., 2012; Buckley et al., 1988; Chao-Hung & Li-Chang, 2010; Krugman, 1990, 1994; M. Porter et al., 2008; M. E. Porter, 1990; Scott & Lodge, 1985; World Economic Forum and Institute for Management Development, 1995)- Assim, enquanto alguns destes autores apresentam uma abordagem clássica, que se concentra principalmente na competitividade no nível macro (internacional, nacional, regional), outros apresentam uma abordagem neoclássica, que se concentra no nível micro.

Uma das abordagens mais inspiradoras para a competitividade surge com Joseph Schumpeter, e as suas teorias do empreendedor e da inovação, defendendo que a vantagem competitiva da empresa é determinada pela capacidade de inovar e desenvolver atividades empreendedoras. Por sua vez, a teoria dos jogos de John von Neumann e Oskar Morgenstern (1944) também contribuiu para o desenvolvimento da teoria da competitividade, referindo-se à competição de mercado como um jogo. A teoria dos jogos procura encontrar estratégias racionais em situações em que o resultado depende não só da estratégia própria de um agente e das condições de mercado, mas também das estratégias escolhidas por outros agentes que possivelmente têm estratégias diferentes, mas objetivos comuns.

Tendo em consideração as várias teorias e conceitos que foram surgindo ao longo dos anos, aqueles que registaram um maior destaque e impacto ao nível da análise económica são: o conceito de mão invisível de Adam Smith, o conceito de vantagem comparativa de David Ricardo, as teorias de Schumpeter do empreendedor e da inovação, a teoria da competitividade de Porter e o conceito de competitividade de Krugman. As duas primeiras explicam um sistema de comércio internacional baseado no princípio das vantagens (absolutas e comparativas). O foco principal de Schumpeter é voltado para atividades inovadoras como determinantes-chave da competitividade. Krugman contribuiu para a teoria da competitividade não apenas demonstrando a relevância da produtividade para as vantagens competitivas das nações no comércio internacional e melhorando os padrões de vida da população, mas também considerando (denunciando) o sentido do debate sobre a competitividade entre as nações. No que diz respeito à teoria da competitividade de Porter, destaca-se o modelo de quatro fatores para a vantagem competitiva das nações denominado modelo do diamante.

Autores como Hinings e Greenwood (1989), Pettigrew e Whipp (1993), Wright *et al.* (1996), Hill e Jones (1998), Hitt *et al.* (2000), Aaker (2001), dedicam grande parte de suas obras à reflexão e descrição de técnicas relacionadas com a dinâmica do ambiente externo e com os desafios que se colocam à competitividade das organizações, partindo, de forma praticamente unânime, do modelo apresentado

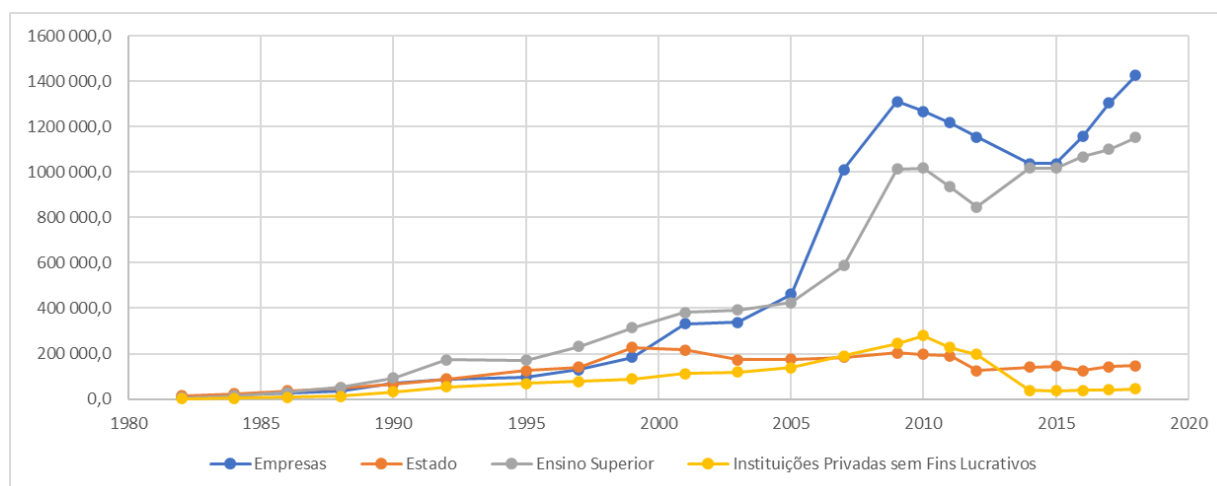
por Porter (M. Porter, 1985), ou seja, considerando as cinco forças que modelam a estratégia. Por sua vez, autores como Wernerfelt (1984), Hunt (1997) e Barney (2002) defendem que a competitividade de uma empresa e sua sustentabilidade decorrem da capacidade em desenvolver estratégias que gerem valor, ou seja, a estratégia competitiva de uma empresa é fortemente influenciada e influencia a cultura de inovação e de criação de valor.

Em estudos mais recentes (Altomonte et al., 2012; Gouveia & Correia, 2016), o nível de competitividade de um país surge associado à dinâmica do respetivo setor de exportação. A intensidade exportadora constitui assim um indicador que permite avaliar a competitividade de um país. Por sua vez, alguns destes estudos defendem ainda que as políticas que promovem a inovação e o investimento podem ter um impacto positivo na probabilidade de exportação das empresas e que, as empresas exportadoras apresentam níveis de eficiência acrescidos face às empresas não exportadoras.

É praticamente indiscutível que a intensidade exportadora (internacionalização) de uma determinada indústria constitui um fator determinante e um indicador-chave para avaliar a sua competitividade. Por sua vez, a propensão à exportação é influenciada pela cultura de inovação e investimento da empresa.

Analisando a evolução das despesas em atividades de investigação e desenvolvimento (I&D), por sector de execução (Gráfico 2.22), destaca-se o setor empresarial como aquele que, a partir de 2005, regista um maior volume de investimento.

**Gráfico 2.22 - Despesas em atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D), por sector de execução**

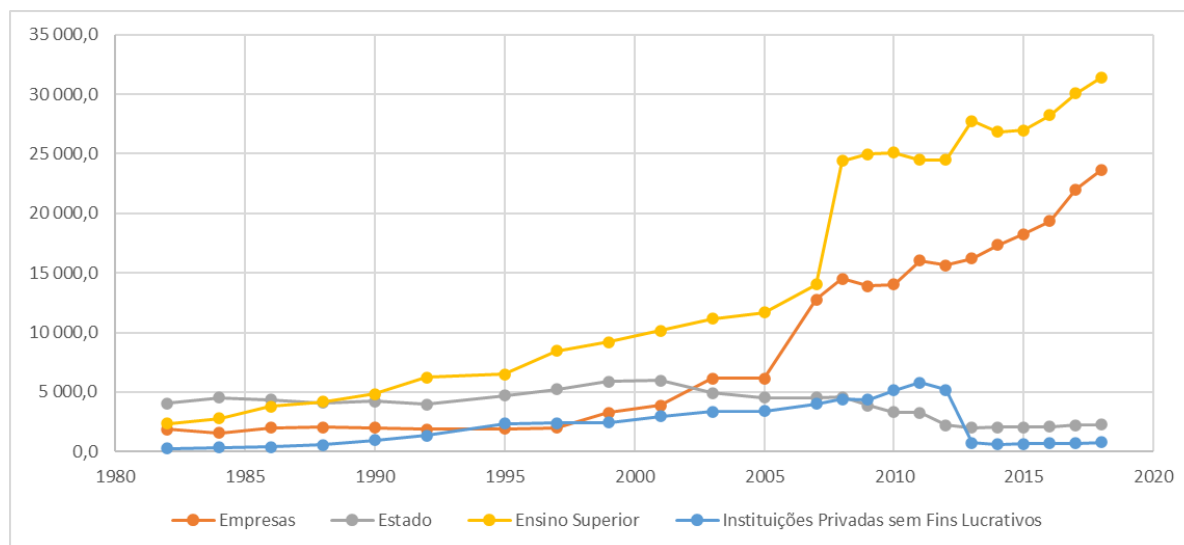


Fonte: Elaboração própria

Fontes de Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

Por sua vez, quando analisamos a evolução dos recursos humanos em atividade de I&D (Gráfico 2.23), o destaque vai para o Ensino Superior, mas também aqui o setor empresarial apresenta um papel de relevo, registando-se para este último um crescimento muito acentuado a partir de 2005, aproximando-se em 2007 dos valores apresentados pelo Ensino Superior.

**Gráfico 2.23 - Pessoal Total (ETI) em atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D), por setor de execução**



Fonte: Elaboração própria

Fontes de Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

Importa ainda salientar o papel da formação, enquanto elemento-chave para a aquisição de competências por parte dos seus recursos humanos, contribuindo para o reconhecimento da qualidade dos seus produtos, constituindo um estímulo à competitividade (Dias, 2018).

Ainda neste âmbito, importa destacar a teoria *learning-by-exporting* defendida por alguns autores como Mariasole *et al* (2014), segundo a qual a experiência nos mercados externos e o acesso ao conhecimento que é partilhado nas cadeias de valor globais, permite que as empresas alcancem níveis de competitividade acrescidos.

De acordo com o estudo de Fabling & Sanderson (2013), as empresas que entram no mercado de exportação tendem a ser maiores em dimensão, mais produtivas e muito mais intensivas em trabalho e capital, relativamente aquelas que mantêm o foco doméstico. Contudo, são identificados muitos outros fatores que podem caracterizar a propensão das empresas à exportação, tais como o salário médio praticado (Girma *et al.*, 2004), as políticas de apoio à exportação (Batista *et al.*, 2017), dimensão

da empresa no período precedente (Caloff, 1994; Gouveia & Correia, 2016), disponibilidade financeira (Bellone et al., 2010), empresas mais jovens, ou seja, criadas recentemente (Gouveia & Correia, 2016), entre outros.

### 2.9.1 Critérios Competitivos

Após um breve enquadramento de como surge o conceito de competitividade e teorias subjacentes, importa agora direcionar a análise para o objetivo traçado no âmbito do presente estudo, ou seja, identificar ao nível micro, isto é, ao nível da empresa, os fatores, critérios e requisitos que influenciam/determinam a sua posição competitiva.

Com os recentes avanços tecnológicos, aliados a alterações no comportamento e aumento da exigência por parte dos consumidores, as empresas enfrentam uma profunda mudança no paradigma industrial, o que tem criado novos desafios, impelindo-as a adaptarem os seus processos, produtos e serviços no sentido de se manterem competitivas.

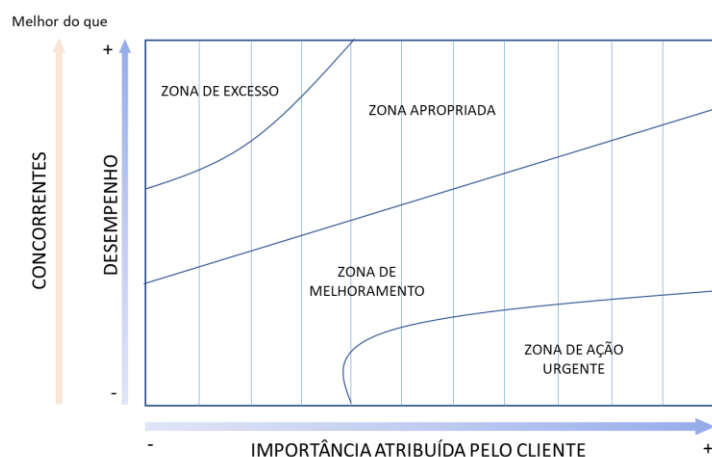
Contudo, a definição de uma estratégia competitiva passa pela identificação dos **critérios competitivos** associados ao seu produto/serviço, os quais constituem fatores que influenciam decisivamente as escolhas dos clientes/consumidores. Neste âmbito, é possível encontrar na literatura vários estudos que permitem definir e identificar os principais critérios competitivos que influenciam a estratégia competitiva das empresas. Segundo Wickham Skinner (Skinner, 1974), os critérios competitivos correspondem aos fatores que são avaliados pelos próprios clientes aquando da sua decisão de compra, ou seja, correspondem a um conjunto de critérios, atributos ou requisitos que as empresas terão de identificar, analisar e, sobretudo, valorizar para que possam alcançar uma posição de mercado mais competitiva. Por sua vez, segundo Barros Neto & Fensterseifer (Barros & Fensterseifer, 2020), os critérios competitivos são definidos como um conjunto consistente de prioridades ou fatores competitivos que a empresa terá de valorizar e priorizar para obter vantagem competitiva.

O consumidor atual é cada vez mais exigente, tendo-se registado um aumento substancial da procura por bens e serviços customizados e individualizados (Hofmann & Knébel, 2013). Por sua vez, para que as empresas se mantenham competitivas no mercado, estas terão de apostar em modelos de negócio inovadores, flexíveis, adaptáveis e diferenciados, o que requer estratégias adequadas que permitam reduzir os seus custos, centrando a sua atenção no cliente e na qualidade dos seus produtos e serviços, procurando aliar a otimização e eficiência da produção com a diferenciação do produto/serviço. Neste contexto, tendo como prioridade máxima a satisfação do cliente e tal como já referido, importa começar por identificar os requisitos do cliente, os quais não são estáticos e diferem de cliente para cliente

(Hilletoft, 2009). Assim, podemos concluir que não é possível identificar uma estratégia adequada e única para todas as empresas, mas um conjunto de critérios e requisitos distintos e dinâmicos, que dão origem a estratégias diferenciadas dependendo do mercado e segmento de cliente (Beck et al., 2012).

Após análise de alguns estudos que abordam este tema (Fine & Hax, 1985; T. J. Hill, 1997; Platts & Gregory, 1990; Wheel Wright, 1984), foi possível concluir que os critérios ou requisitos competitivos mais referenciados, ou seja, aqueles que se repetem em todos os estudos analisados, são o custo, a qualidade, a flexibilidade, o desempenho ao nível da entrega e a inovação. Estes critérios estão associados à estratégia de negócio definida pela empresa no sentido de ocupar uma posição competitiva no mercado. Contudo, a priorização destes critérios está dependente de um conjunto diversificado de fatores, tais como o tipo de produto vendido e/ou serviço prestado, o mercado onde opera e/ou onde pretende atuar, o modelo de negócio definido, a dimensão da empresa, as competências e experiência, importância atribuída às expectativas e necessidades do cliente, entre muitos outros. Ainda neste âmbito Slack (1993) sugere um processo de diagnóstico no sentido de se priorizar os critérios de competitividade. Este processo passa pelo desenvolvimento de uma matriz importância /desempenho. Esta matriz foca-se, por um lado, nas necessidades dos consumidores, uma vez que são estes que irão decidir se, por exemplo, a qualidade é mais importante do que o preço, permitindo assim identificar o grau de importância que o consumidor atribui a determinado bem e/ou serviço. Esta matriz destaca ainda a questão do desempenho, critério este que assume também uma importância distinta de cliente para cliente. Esta matriz (Figura 2.9) permite, assim, posicionar e relacionar os critérios competitivos com o desempenho do sistema de produção.

**Figura 2.9 - Matriz Importância - Desempenho**



Fonte: Adaptado de (Slack, 1993)

Tendo em consideração a Figura 2.9, os critérios competitivos identificados por uma determinada empresa podem posicionar-se em quatro zonas distintas: Zona Apropriada, Zona de Excesso, Zona de Melhoria e Zona de Ação Urgente.

Quando um critério competitivo se posiciona na Zona Apropriada significa que o mesmo contribui positivamente para o seu desempenho, em relação com os concorrentes, sendo ainda considerado importante pelo cliente. Por sua vez, se o critério competitivo se posicionar na Zona de Melhoria, significa que, apesar de relevante para o cliente, o desempenho da empresa encontra-se comprometido, exigindo a definição de ações de melhoria para que o critério transite para a Zona Apropriada. Quando o critério se situa na Zona de Excesso, está associado a um desempenho acima da média, mas é pouco valorizado pelo cliente. Por fim, se o critério estiver posicionado na Zona de Ação Urgente, significa que apesar de muito importante para o cliente, o seu desempenho é pior do que o concorrente.

Passando então a analisar cada um dos **cinco critérios competitivos** mais referenciados na literatura (Fine & Hax, 1985; T. J. Hill, 1997; Platts & Gregory, 1990; Wheel Wright, 1984).

Quando o **custo** é definido, pela empresa, como um **critério competitivo**, esta deverá encetar todos os esforços para reduzir os seus custos. Pode fazê-lo aumentando as suas preocupações com a redução do desperdício, aumento da qualidade, melhoria do processo produtivo, melhoria da qualificação dos seus colaboradores, manutenção preventiva dos seus equipamentos (eliminar paragens desnecessárias). Isso permite-lhe melhorar o seu desempenho, a produtividade e uma melhor utilização dos seus recursos.

Por sua vez, quando a empresa decide competir pela **qualidade**, importa identificar as oito dimensões associadas ao conceito qualidade (Garvin, 1987): a qualidade do desempenho; a qualidade das características secundárias (satisfação adicional do cliente pela existência destas características); a qualidade associada à confiança no produto/serviço; a qualidade associada à conformidade do produto/serviço (adequação em relação ao padrão e especificações estabelecidas); a qualidade associada à durabilidade do produto (medida de tempo de vida); a qualidade dos serviços agregados (rapidez e qualidade do serviço; a procura do cliente passa não só pelo produto mas pelos serviços agregados como a formação e o serviço pós-venda); a qualidade estética (dimensão subjetiva da qualidade, como por exemplo, a aparência, cor, aroma, som, sendo percebida de forma diferente de indivíduo para indivíduo); a qualidade percebida (nome, marca, reputação da empresa).

Quando a **flexibilidade** é identificada como um critério competitivo, a empresa deverá ter a capacidade de se adaptar a um conjunto diversificado de cenários, sendo para isso fundamental estar atenta ao custo e ao tempo de resposta que, por sua vez, está dependente de determinadas variáveis internas como o funcionamento dos seus equipamentos e o stock de matérias-primas, mas importa ainda ter

em atenção as variáveis externas como a existência e interesse em novos mercados, a evolução tecnológica, as exigências e necessidades dos consumidores. Num cenário em que a flexibilidade é, de facto, o critério ou um dos critérios competitivos selecionados, a empresa deverá focar-se na flexibilidade dos seus produtos (novos, melhorados, diferenciados, diferentes gamas), bem como na flexibilidade de entrega. Assim, uma empresa é tanto mais flexível quanto mais rápido for a adequação dos seus equipamentos e quanto mais rápidos forem os ajustes ao nível do seu processo produtivo.

No que concerne ao **critério competitivo Desempenho ao nível da Entrega**, destaca-se aqui a importância da relação entre o fornecedor e o cliente. Caso este seja um dos critérios selecionados pela empresa, esta terá de privilegiar a mobilização dos seus recursos para que seja possível cumprir as datas de entrega definidas com o cliente, e caso tencione destacar-se em relação à concorrência, deverá apostar na rapidez da entrega.

Por fim, quando a **inovação** é identificada pela empresa como um critério competitivo, a mesma pode estar relacionada com a inovação no processo ou a inovação no produto. A inovação no processo permite aumentar o nível de qualidade, reduzir custos, aumentar a flexibilidade e aumentar a rapidez na entrega. Por sua vez, a inovação no produto caracteriza-se pela capacidade de implementar novas ideias que possuem o potencial de contribuir para os objetivos da organização. É um processo de mudança com o objetivo de obter futuras vantagens competitivas.

Uma vez identificados e compreendidos os critérios que influenciam a decisão do consumidor no ato da compra, a importância de cada um destes critérios, o desempenho relativo da empresa em relação aos seus concorrentes, segue-se o desenvolvimento dos planos de ação estratégicos. Tendo em consideração a matriz Importância-Desempenho (Figura 2.9), é possível identificar as prioridades e priorizar as ações e decisões a serem tomadas para aumentar o desempenho da empresa (Slack, 1993). Assim, caso os critérios definidos se posicionem nas zonas de “ação urgente” ou de “melhoria” importa encetar processos que permita mover estes critérios para a zona “apropriada”, o que pode passar por investir em novas tecnologias, na aposta no marketing, na melhoria da produtividade.

Por sua vez, e de acordo com Porter (M. Porter, 1985) é importante criar um posicionamento estratégico sustentável, analisando os trade-offs existentes nos mercados, por forma a selecionar as atividades a realizar. A formulação de uma estratégia competitiva deve ainda passar pela antecipação de possíveis situações adversas, o que implica a identificação dos pontos fortes e fracos da empresa (limites internos à estratégia competitiva), bem como as oportunidades e ameaças (perfil relativamente à concorrência), ou seja, é crucial definir a sua matriz SWOT, a qual permitirá aos decisores ter um prisma crítico sobre a empresa e os riscos associados às suas decisões.

## 2.9.2 O Posicionamento das Empresas da Indústria Metalomecânica Nacional

De acordo com o livro *Strategic Planning: A Practical Guide*, de Peter J. Rea e Harold Kerzner (Rea & Kerzner, 1997), uma das obras de referência nesta área, a competitividade constitui uma medida relativa, que indica a posição de uma empresa em relação a seus concorrentes no mercado.

Centrando a análise na indústria metalomecânica em Portugal, que corresponde ao foco de análise do presente estudo, e de acordo com o estudo “*Assessing the Competitiveness of the Portuguese Metalworking Sector*” (Marinho & Carvalho, 2018), as empresas que apostem no investimento em ativos tangíveis e intangíveis serão conseqüentemente mais competitivas e mais propensas a exportar e aumentar as exportações. Por sua vez, as empresas que exportam e que recorrer a incentivos à exportação são aquelas que registam maiores níveis de competitividade. Neste contexto, destaca-se o papel dos decisores políticos na definição de políticas de apoio à exportação e de apoio e promoção do investimento em investigação e desenvolvimento tecnológico, bem como do investimento em outros ativos tangíveis (capital físico, como novas tecnologias) e ativos intangíveis (capital humano, software e propriedade industrial).

Face ao exposto, é possível concluir que a competitividade e a estratégia competitiva definida por uma empresa é influenciada por um conjunto diversificado de fatores, sendo indiscutível que a intensidade exportadora (internacionalização) de uma determinada indústria constitui um fator determinante e um indicador-chave para avaliar a sua competitividade. Por sua vez, a propensão à exportação é influenciada pela cultura de inovação e investimento da empresa.

Neste âmbito e conforme já abordado no subcapítulo 2.8, a indústria metalomecânica portuguesa é caracterizada por uma sólida reputação internacional. No ano de 2018, esta indústria era responsável por 32 por cento das exportações totais de bens de Portugal, e cerca de 75 por cento destas empresas apresentavam atividades de inovação, quer ao nível do produto, quer ao nível do processo (Campos, 2018).

Embora os determinantes da competitividade variem de empresa para empresa, bem como de setor para setor, é possível identificar alguns fatores que são determinantes de uma forma transversal, tais como a saúde financeira da empresa, o investimento intensivo em capital, um investimento regular em atividades de I&D e a aposta na formação dos seus colaboradores.

## 2.10 A Relação entre Competitividade e a Tecnologia MA

Desde a primeira revolução industrial, que teve início no século XVIII, temos assistido a avanços tecnológicos notáveis, associados a mudanças abruptas que são tão incisivas que têm originado impactos significativos em toda a comunidade, em especial na indústria.

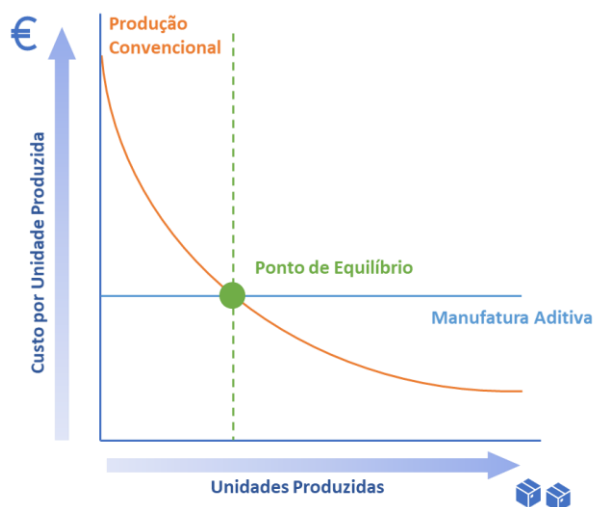
Por sua vez, a tomada de decisão pelas empresas para a introdução destas novas tecnologias no seu processo produtivo está dependente da vantagem económica associada, exigindo que se analisem previamente custos, proveitos e escala de tempo.

Numa visão tradicional, os investimentos realizados são justificados pela produção de elevadas quantidades de produtos. Neste contexto, os modelos de produção em massa, associados aos efeitos de economias de escala (o custo médio por unidade produzida vai diminuindo à medida que o número de unidades produzidas aumenta), indicam que o aumento da quantidade produzida de um determinado produto através de um processo produtivo eficiente permitirá a obtenção de custos unitários inferiores (Joseph Pine, 1993).

A introdução/adoção da tecnologia de MA pelas empresas veio, assim, incitar uma alteração de paradigma, tendo em consideração os modelos de produção tradicionais. É neste contexto que surge o Modelo de *Economies of One*, uma vez que quando estamos a falar de MA é economicamente mais viável produzir pequenas quantidades de peças, ou seja, com esta tecnologia o custo médio de produção é minimizado quando se produzem pequenos lotes ou mesmo uma única unidade. Este processo é oposto ao modelo tradicional uma vez que neste último os custos iniciais de produção são muito elevados (Cotteleer & Joyce, 2014).

De acordo com o Relatório da Deloitte “*3D Opportunity: Additive Manufacturing paths to performance, innovation and growth*” (Cotteleer & Joyce, 2014), a opção por um destes métodos de produção (tradicional/convencional ou MA) implica que seja calculado, previamente, o Ponto de Equilíbrio Conceptual, o qual resulta da interseção entre as curvas de custo associadas a cada uma destas metodologias, permitindo identificar o volume de produção até ao qual é economicamente mais vantajoso optar pela MA em alternativa à produção tradicional/convencional (Figura 2.10).

Figura 2.10 Ponto de Equilíbrio Conceptual entre Produção Tradicional/Convencional e MA



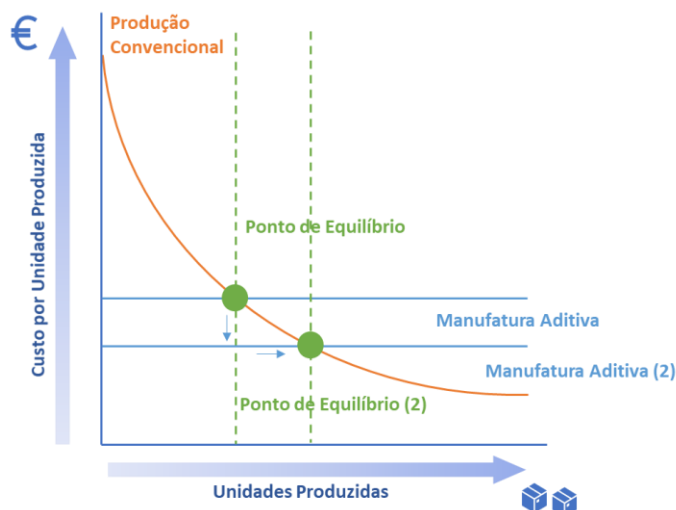
Fonte: Adaptado de Deloitte University Press | DUPress.com (Cotteleer e Joyce 2014)

A representação gráfica correspondente à Figura 2.10 apresenta as curvas conceptuais do custo associado ao processo de produção tradicional e de MA, constatando-se, por via da equação associada ao método tradicional de produção, que o custo médio por unidade produzida vai diminuindo à medida que o número de unidades produzidas aumenta, obtendo-se o efeito de economias de escala. Por sua vez, a equação do custo associada à MA mostra que se trata de uma reta com declive nulo, onde o custo médio por unidade produzida mantém-se constante independentemente do número de unidades produzidas, sugerindo a inexistência de alterações nos custos marginais.

O ponto de equilíbrio, ou seja, o ponto onde as duas curvas se intersectam, corresponde ao ponto onde estes dois métodos de produção se igualam em termos de custos médios por unidade produzida, sendo que à esquerda desse ponto a tecnologia MA apresenta custos de produção por unidade inferiores para pequenos volumes e à direita desse ponto os métodos de manufatura tradicionais apresentam menores custos de produção por unidade para volumes de produção elevados. Contudo, é expectável que num futuro próximo este ponto de equilíbrio seja alterado, devido à redução no custo dos equipamentos e aumento na eficiência do processo de MA (Cotteleer & Joyce, 2014) ou seja, a curva (reta) de custo da MA desloca-se para baixo e o ponto de equilíbrio desloca-se para a direita (Figura 2.11). Mais concretamente, simulando a produção de 100 unidades de uma determinada peça e considerando a estrutura de custos associada ao método tradicional (curva de custo marginal decrescente), bem como associada à MA (uma reta já que o custo de produção se mantém constante ao longo do processo),

podemos rapidamente identificar o ponto, ou a quantidade produzida a partir da qual a opção pela MA deixa de ser vantajosa.

**Figura 2.11 - Ponto de Equilíbrio Conceptual entre Produção Tradicional/Convencional e MA**



Fonte: Adaptado de Deloitte University Press | DUPress.com (Cotteleer & Joyce, 2014)

Ainda neste âmbito surge um outro conceito - *Economies of Scope* – o qual indica que o custo de produção unitário diminui ao usar o mesmo processo produtivo para produzir produtos diferentes (Joseph Pine, 1993). Efetivamente, quando estão em causa peças com design mais complexo, associado à complexidade geométrica e restrições de acessibilidade, a utilização de métodos de produção tradicionais exige a produção separada de várias partes da mesma peça, as quais serão posteriormente agregadas formando uma peça única. Pelo contrário, a tecnologia MA é conhecida pela sua versatilidade, permitindo a impressão de peças de elevada complexidade geométrica usando o mesmo equipamento e processo, reduzindo tempos de *changeover* e os custos associados.

Um exemplo onde é possível confirmar a flexibilidade da tecnologia MA é o desafio colocado pela GE Aircraft (GE Additive, 2021), relacionado com a produção de um dos novos componentes a integrar numa nova geração de motores, tendo concluído que através dos métodos tradicionais era necessário soldar várias componentes, sendo que com a aplicação da MA estes componentes passaram a ser produzidos por via de um único processo de impressão. Para além da simplificação do processo de produção, possibilitou a produção de peças mais leves e com uma durabilidade superior, permitindo reduzir os custos associados a combustível e manutenção.

Neste contexto, é possível identificar na literatura vários estudos onde é reconhecido e enfatizado o potencial e os benefícios associados a esta tecnologia, constituindo, por este motivo, um veículo de disseminação e de incentivo ao investimento (Stephen Mellor et al., 2014; Muir & Haddud, 2018; Steenhuis & Pretorius, 2016; Vinodh et al., 2009). Estes estudos fazem também referência a determinados fatores que promovem e incentivam este investimento, tais como a criação de políticas de apoio ao investimento e o desenvolvimento de ações de transferência de tecnologia, permitindo a criação de sinergias entre a academia, as instituições de investigação e os clusters tecnológicos e industriais.

No que concerne à relação entre a adoção/integração desta tecnologia com a posição competitiva da empresa, constata-se que se trata de um tópico que tem sido alvo de grande discussão na literatura, uma vez que enquanto alguns autores afirmam que a adoção desta tecnologia potencia a competitividade das empresas, outros defendem que a competitividade destas empresas é penalizada. Segundo Niaki e Nonino (2017), para analisar a influência que a adoção desta tecnologia exerce sobre a competitividade das empresas é necessário ter em consideração determinados fatores, tais como, a dimensão da empresa, o tempo de utilização da tecnologia e o objetivo da sua utilização. De acordo com o estudo realizado por Hämäläinen e Ojala (2015), numa fase inicial de adoção da MA as empresas indicaram que a tecnologia acelerou o desenvolvimento e a criação de novos produtos, o que lhes permitiu alcançar vantagem competitiva.

Contudo, importa ter em consideração que os sistemas de MA não aumentarão a competitividade das empresas quando estão em causa produtos que foram desenhados para serem produzidos e distribuídos convencionalmente (Ituarte et al., 2016).

Face ao exposto é possível concluir que a atividade e o modelo/estratégia de negócio definido pela empresa são determinantes, quer ao nível da decisão relacionada com a integração da tecnologia, quer ao nível dos efeitos desta adoção na competitividade da empresa.

Num estudo desenvolvido por Mojtaba Khorram Niaki e Fabio Nonino (Niaki & Nonino, 2017), são identificados e categorizados os principais impactos da MA na indústria. Na tabela seguinte (Tabela 2.7) é possível analisar cada um destes impactos por área de intervenção: estratégia da empresa, clientes, produto e processo.

**Tabela 2.7 - Impactos da Manufatura Aditiva na Indústria**

Área	Impacto	Descrição
Estratégia da Empresa	Time-to-Market	A tecnologia de MA está associada a processos de produção mais céleres o que permite reduzir o time-to-market.
	Novo mercado	A tecnologia de MA é mais vantajosa em mercados caracterizados por uma procura pela customização e flexibilização da produção.

Área	Impacto	Descrição
	Competitividade	São várias as vantagens associadas à aplicação da MA que, por sua vez, influenciam o nível de competitividade das empresas e dos seus produtos.
Cliente	Customização	Ao permitir aos designers uma quase total liberdade no que concerne ao design do produto, incitou uma customização em massa, ao nível dos bens de consumo. Por sua vez, em comparação com os métodos já existentes de customização, a MA permite reduzir o desperdício e o número de operações manuais.
Produto	Peças complexas	A tecnologia de MA caracteriza-se pela quase ausência/necessidade de ferramentas, permitindo o design e a produção de peças complexas. A processo SLS destaca-se neste contexto, uma vez que permite a produção de peças e geometria complexas.
	Peças leves	Esta tecnologia permite produzir peças mais leves, quando comparada com a sua produção através métodos convencionais. Permite ainda aumentar a relação força/peso que se tem traduzido num fator de sucesso para as empresas. A redução do peso da peça pela sua produção através da tecnologia de MA está associada à otimização ao nível do design, reduzindo substancialmente o material consumido. Esta tecnologia permite ainda o redesign da peça, o que resulta no aumento do rácio força/peso, permitindo cumprir os requisitos funcionais da peça, minimizando a quantidade de material utilizado na sua produção.
	Aumento da qualidade	Um produto com sucesso será aquele que satisfaz a necessidade do cliente, enquanto acrescenta valor. Alguns processos, como o FDM, apresentam uma grande desvantagem ao nível da qualidade final do produto, associado ao seu acabamento e fraca precisão dimensional.
Processo	Desperdício de Material	A tecnologia de MA utiliza apenas o material necessário para criar a peça, permitindo reduzir o desperdício de material. Esta tecnologia permite ainda poupar energia. O aumento da eficiência na utilização dos materiais, permite não apenas reduzir o desperdício, como também reduzir as necessidades de reciclagem e de armazenamento e ainda o consumo de água e de combustível.
	Flexibilidade	Uma vez que a tecnologia de MA produz uma peça através da deposição de camada por camada, sem a necessidade de ferramentas, moldes e punções, permite uma grande flexibilidade na produção e prototipagem. A capacidade de fabricar peças com designs geometricamente complexos permite uma maior liberdade e flexibilidade ao nível do design.
Custo	Consumo Energético	Esta tecnologia é ainda caracterizada pelo impacto positivo a nível do consumo de energia, contudo depende sempre do tipo de tecnologia e do tipo de processo utilizado.
	Materiais mais caros	Alguns dos materiais utilizados estão associados a custos elevados de aquisição, o que por sua vez tem consequência no custo final da peça
	Custos de Stock e armazenamento	Esta tecnologia permite diminuir os custos de stock, uma vez que a produção pode ser feita apenas por encomenda. A possibilidade de produzir no próprio local (pela facilidade de transportar estes equipamentos e produzir em qualquer local), permite reduzir prazos de entrega, bem como eliminar custos de stock, armazenamento e custos de logística.
	Retorno do Investimento	A tecnologia de MA é reconhecida como uma oportunidade de investimento.

Fonte: Adaptado de (Niaki & Nonino, 2017)

Este estudo conclui que as empresas que introduziram tecnologias de MA há mais de cinco anos, verificaram um crescimento ao nível da sua competitividade. Segundo a opinião dos interlocutores das empresas analisadas, a utilização da MA permite às empresas aumentar a satisfação dos clientes, o volume de negócios da empresa e fomentar uma estratégia de expansão de mercado.

O estudo apresentado por Sharon L. N. Ford (Ford, 2014) explora o desenvolvimento e a aplicação da MA, bem como iniciativas levadas a cabo nos Estados Unidos e em outros países para promover a utilização desta tecnologia. Este estudo analisa o efeito da tecnologia nas atividades de produção da empresa e da indústria, assim como as implicações potenciais para a competitividade da manufatura dos EUA, focada em três setores (automóvel, aeroespacial e saúde). Conclui que os fatores que influenciam o potencial da MA para a competitividade dos EUA são a definição de normas, a seleção e o acesso a materiais, e o aumento da precisão e confiabilidade de equipamentos e processos. Por sua vez, este estudo destaca ainda a capacidade, conferida por esta tecnologia, de reduzir custos e melhorar eficiência na indústria da manufatura, que continua a ser um importante motor de prosperidade no país: a manufatura é responsável por 12% do produto interno bruto dos EUA, 70% dos gastos privados com I&D, 60% das exportações e cerca de um terço do crescimento da produtividade. A implementação de normas, políticas e iniciativas governamentais e industriais apropriadas acelerará o desenvolvimento e a adoção da tecnologia MA. Embora os benefícios variem em função da indústria, os efeitos resultantes evidenciam um aumento da produtividade em geral e da competitividade da manufatura dos Estados Unidos.

Face ao exposto é possível concluir que a MA está a revolucionar a forma como os produtos são desenhados, produzidos e distribuídos aos consumidores finais.

Apesar de se tratar de uma tecnologia que continua a registar um desenvolvimento significativo, importa apostar mais na investigação e no incentivo ao investimento, no sentido de se facilitar a utilização e validação industrial.

Mais recentemente e no seguimento do cenário de pandemia provocado pelo novo coronavírus, a interrupção registada na cadeia de fornecimento de equipamentos de proteção individual, e as restrições que se seguiram, chamaram a atenção para o setor da MA, uma vez que permitiu a produção local e por encomenda de acessórios para viseiras, componentes para os sistemas de ventilação, entre muitos outros acessórios, o que ajudou a aumentar a resiliência industrial em setores estratégicos.

Por sua vez, esta tecnologia tem suscitado maior atenção por se tratar de um processo mais eficiente e ambientalmente sustentável, permitindo reduzir o desperdício nos processos produtivos uma vez que utiliza apenas o material necessário para a produção de uma determinada peça. Esta tecnologia pode ainda ser integrada nas estratégias de design circular dos produtos, criando, por exemplo, oportunidades para aumentar a vida útil de um produto, permitindo reparações ou atualizações, mesmo

quando estes produtos não foram originalmente desenhados e concebidos para facilitar a reparação ou atualização.

Assim, no seguimento da análise de vários estudos que abordam a relação entre a adoção desta tecnologia e a competitividade das empresas, é possível concluir que a MA tem registado, cada vez mais, aplicação nos diversos setores, contudo permanece limitada à produção de pequenas séries. Apesar de esta tecnologia ter potencial de crescimento, com impacto na produtividade em diversos setores, as suas implicações para a competitividade geral das empresas ainda são pouco claras, estando dependente de um conjunto diversificado de fatores, como acontece com qualquer tecnologia emergente. No ponto seguinte é possível analisar, por critério competitivo, as repercussões da integração desta tecnologia, sendo possível confirmar que existem vários fatores e contextos que devem ser analisados previamente para que seja possível ao responsável da entidade aferir/avaliar o real impacto desta tecnologia.

### **2.10.1 A MA e os Critérios Competitivos**

No seguimento da análise realizada no ponto 2.9.1, relativa à identificação dos principais critérios competitivos que devem ser analisados e valorizados pelas empresas que procuram manter o seu posicionamento competitivo, ou procuram uma posição mais competitiva no mercado, importa agora identificar a relação existente entre estes critérios e a tecnologia de MA.

Relativamente ao **critério competitivo “custo”**, quando analisada a repercussão que a integração desta tecnologia no processo produtivo terá neste âmbito, alguns autores destacam a redução dos custos associados à produção, por via da redução do desperdício de matéria-prima, pela redução do consumo de energia e pelo facto de não serem necessárias ferramentas (Attaran, 2017; Ding & Bao, 2016; Farish, 2015; Gardiner, 2015; Le Bourhis et al., 2013; Nelson et al., 2017; Shulman et al., 2012). Por outro lado, uma vez que as peças podem ser produzidas no local ou próximo do local de utilização/aplicação, permite a redução ou mesmo eliminação de custos de transporte e de armazenamento (Kieviet & Alexander, 2015; Salles & Gyi, 2013; Shulman et al., 2012). A questão da redução do consumo energético é ainda destacada pelo Departamento de Energia dos EUA, referindo que esta tecnologia permitirá uma redução do consumo energético de 50 por cento ou mais (Ford, 2014).

Contudo, o custo associado a determinados equipamentos de MA e a determinados materiais tem provocado grande divergência na literatura, quando se pretende definir o impacto geral da utilização desta tecnologia no custo de produção. Nos últimos anos temos assistido à redução significativa dos custos associados aos equipamentos de MA, o que poderá vir a alterar a posição de alguns pesadores

na área (Lecklider, 2016; Long et al., 2017). Uma outra consequência negativa neste critério está relacionada com a produção de grandes séries, que tal como analisando no ponto 2.10, recorrendo à tecnologia de MA significa ter custos superiores (Berman, 2012; Mishra, 2013). Uma outra categoria de custos associados à MA que é importante ter em consideração são os custos com a propriedade intelectual, com a qualificação e com os custos de certificação (I. D. Harris, 2012; Zhai et al., 2014). Deste modo, mesmo que muitos autores foquem a possibilidade de reduzir custos pelos motivos já referidos, muitos outros ainda fazem referência ao custo como uma barreira ainda a superar para que esta tecnologia seja associada a níveis de competitividade acrescidos.

No que concerne ao **critério competitivo “flexibilidade”**, este é sem dúvida o critério mais citado na literatura quando associado à utilização da tecnologia de MA (Ding & Bao, 2016; I. D. Harris, 2012; Nelson et al., 2017). Esta tecnologia surge assim associada à liberdade de design, geométrica e dos materiais utilizados, permitindo conceber produtos complexos e fornecer produtos personalizados e economicamente viáveis para o cliente final (Salles & Gyi, 2013)). Surge também associada à produção, de forma rentável, de produtos por encomenda e em pequenas quantidades, o que também é conhecido por customização em massa (Berman, 2012; D’Aveni, 2015; Stephen Mellor et al., 2014). Todos esses fatores melhoram a flexibilidade do processo produtivo e reduzem as interrupções nas operações a cada troca de produto (Attaran, 2017; Long et al., 2017). Por sua vez, importa ainda destacar o facto de esta permitir a utilização de materiais dos mais diversos tipos, desde plástico até materiais como cerâmica, madeira e metais (Wray, 2014).

No entanto, a MA apresenta como aspeto negativo o facto de as vantagens do ponto de vista da flexibilidade serem reduzidas quando está em causa a produção em grandes lotes (D’Aveni, 2015).

Passando para o **critério competitivo “qualidade”**, a tecnologia MA depara-se com uma grande limitação, uma vez que a qualidade e confiabilidade das peças está dependente da utilização de operações complementares para obter a peça final (acabamento), o que se revela uma barreira, que por sua vez diminui a atratividade desta tecnologia. Por sua vez, vários estudos demonstram que esta tecnologia não é precisa ou robusta o suficiente para ser ampliada e utilizada na produção em massa (Mishra, 2013; Stratfor Geopolitical Diary, 2013). A instituição de processos para a garantia da qualidade e confiabilidade dos produtos finais constitui um dos desafios para o futuro desta tecnologia nos sistemas de produção (Ford, 2014). Contudo, em estudos mais recentes, constata-se que os problemas associados às propriedades mecânicas de resistência começam a ser superados, pela utilização de novos materiais e novas técnicas associadas ao controlo metrológico (Attaran, 2017; Nelson et al., 2017).

No que concerne a **critério competitivo “desempenho ao nível da entrega”**, tendo em consideração uma das principais características desta tecnologia, que se prende com a produção de peças por

encomenda e sem a necessidade de ferramentas adicionais, esta tecnologia revela um grande potencial quando está em causa a cadeia de fornecimento (Ford, 2014; Gardiner, 2015). Estando focada na produção de pequenos lotes, origina cadeia de fornecimento mais simples, stocks reduzidos e prazos de entrega inferiores (Long et al., 2017; Nelson et al., 2017; Petrick & Simpson, 2013). Por sua vez, no que respeita à resposta a mercado, quando comparada com as tecnologias convencionais, a tecnologia de MA caracteriza-se por uma conceção e produção célere, permitindo rapidamente responder à procura de mercado (Ford, 2014).

Em relação ao **critério competitivo “inovação”**, importa distinguir duas vertentes: inovação do processo e inovação do produto. Ao nível da inovação do processo esta tecnologia é em si mesmo uma inovação do processo produtivo, uma vez que permite a produção de bens personalizados, com geometrias complexas, que seria tecnicamente impossível recorrendo a tecnologias tradicionais (I. D. Harris, 2012; Salles & Gyi, 2013; Tuomi et al., 2014). Já em relação à inovação do produto, a utilização desta tecnologia permite uma maior celeridade na fase de desenvolvimento do produto pela facilidade de produção de protótipos a baixo custo e com redução no *time-to-market*, permitindo um ritmo de inovações acelerado, trazendo vantagens competitivas para as empresas (Berman, 2012).

No seguimento da análise efetuada por critério competitivo, avaliando o impacto da tecnologia de MA em cada um desses critérios, foi preparada uma tabela que permite resumir todos estes impactos (Tabela 2.8), constatando-se o predomínio dos impactos positivos, contudo os impactos negativos são igualmente determinantes para a adoção desta tecnologia.

**Tabela 2.8 – O impacto da MA nos critérios competitivos**

IMPACTO DA MA		CRITÉRIOS COMPETITIVOS				
		CUSTO	QUALIDADE	FLEXIBILIDADE	DESEMPENHO ENTREGA	INOVAÇÃO
IMPACTO POSITIVO	Redução do desperdício de materiais	X				
	Redução do consumo de energia	X				
	Eliminação da necessidade de ferramentas	X			X	
	Produção no local	X				
	Redução/eliminação dos custos de transporte	X				
	Redução/eliminação dos custos armazenamento	X				
	Liberdade de design, geométrica e dos materiais utilizados			X		
	Produtos complexos e personalizados			X		X
	Produtos economicamente viáveis para o cliente final			X		
	Customização em massa			X		

IMPACTO DA MA		CRITÉRIOS COMPETITIVOS				
		CUSTO	QUALIDADE	FLEXIBILIDADE	DESEMPENHO ENTREGA	INOVAÇÃO
IMPACTO POSITIVO	Redução das interrupções nas operações			X		
	Utilização de materiais dos mais diversos tipos			X		
	Produção por encomenda				X	
	Produção de pequenos lotes				X	
	Redução de Stocks e de prazos de entrega				X	
	Resposta rápida à procura de mercado				X	
	Celeridade na fase de desenvolvimento do produto					X
	Produção de protótipos a baixo custo					X
	Redução no time-to-market					X
IMPACTO NEGATIVO	Custo dos equipamentos	X				
	Custos dos materiais	X				
	Produção de grandes séries com custos superiores às tecnologias convencionais	X		X		
	Custos com a propriedade intelectual	X				
	Custos com qualificação	X				
	Custos com certificação	X				
	Acabamento das Peças		X			
	Precisão		X			
Propriedades mecânicas de resistência		X				

Fonte: Elaboração própria

Tendo em consideração a informação que consta na tabela supra, pode-se inferir que, no atual estágio das tecnologias de MA, as empresas que se concentrem na produção de pequenos lotes e na produção de uma grande variedade de produtos, poderão competir no mercado utilizando esta tecnologia, considerando os critérios identificados.

Ao nível dos impactos negativos, os mesmos relacionam-se, na sua maioria, com a produção em massa. Para as empresas que adotem este modelo de produção registam-se repercussões negativas associadas aos critérios custo, qualidade e flexibilidade. Para este caso, a integração desta tecnologia pode comprometer a competitividade da empresa. Ainda ao nível dos impactos negativos identificados, os mesmos estão relacionados com limitações tecnológicas, o que significa que dependem da investigação e desenvolvimento associado a esta tecnologia.

## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA**

No presente capítulo são descritos os principais procedimentos metodológicos aplicados neste estudo. Começa-se por apresentar o tipo de investigação, bem como as abordagens e o método utilizados. Segue-se uma elucidação relativamente ao processo de recolha de dados – inquérito por questionário – a descrição da população, ou universo estatístico inquirido, e a caracterização da amostra obtida (empresas que responderam ao questionário). Por fim, descrevem-se os instrumentos de recolha de dados e a experiência de aplicação.

### **3.1 Categorização da investigação**

No que concerne à categorização e tipo de investigação, o presente estudo pode ser classificado da seguinte forma:

- Quanto à natureza, a investigação é do tipo aplicada visto que objetiva gerar conhecimento e melhor entendimento ao nível da importância e aplicabilidade da tecnologia MA nas empresas do setor MM.
- Do ponto de vista dos objetivos, a investigação é do tipo explicativa, pois tenta identificar o impacto que a adoção da tecnologia MA pelas empresas do setor MM terá na sua competitividade, conforme definição no objetivo geral do presente estudo.
- Em relação à fonte de dados, o estudo utiliza dados primários obtidos por meio da aplicação de um inquérito por questionário. De forma indireta, também foram utilizados “dados secundários”, sobretudo, consulta dos websites das empresas analisadas e divulgações através de telecomunicações digitais como forma de obter mais conhecimento dos produtos e do mercado onde atuam.

### **3.2 Abordagens e método aplicados**

O método selecionado para o presente estudo envolve a combinação entre uma abordagem quantitativa e uma abordagem qualitativa, permitindo acrescentar valor à análise final.

A ideia de combinar diferentes métodos surgiu entre antropólogos e sociólogos no início da década de 60. No final de 1970, surge o termo “triangulação” que corresponde à combinação de metodologias no estudo de um mesmo fenómeno tendo como objetivo diminuir a tendência inerente ao uso de um único método. Durante a década de 80, observou-se um ligeiro crescimento da utilização de métodos mistos e no final da década de 90 a literatura existente sobre este tema registava já um desenvolvimento considerável, permitindo, assim, que esta metodologia fosse considerada como um “novo” campo científico (Doorenbos, 2014; Fawcett, 2015; Kettles et al., 2011).

Ao longo deste percurso evolutivo, foram surgindo várias nomenclaturas, no sentido de expressar a integração ou conexão entre dados qualitativos e quantitativos, destacando-se: investigação multimétodo, pesquisa integrada/combinada, triangulação, estudo híbrido, metodologia mista e, finalmente, o termo mais utilizado hoje, que é investigação por métodos mistos (Creswell, 2010, 2013).

As principais razões que justificam a opção por este método são: (i) quando estão em causa novos conceitos e a literatura disponível sobre os mesmos é ainda escassa; (ii) quando é necessário melhorar a interpretação dos resultados de uma abordagem; (iii) quando, por si só, nem a abordagem qualitativa, nem a abordagem quantitativa é suficiente para a compreensão do problema a ser estudado; (iv) quando os resultados quantitativos são de difícil interpretação e a análise qualitativa pode ajudar a compreendê-los. Por outro lado, os resultados de um método podem auxiliar a identificação de participantes a serem estudados ou perguntas a serem colocadas pelo outro método (Creswell, 2010).

Assim, estes dois tipos de abordagem (quantitativa e qualitativa) diferem nos seus fundamentos filosóficos e meta-teóricos, quer ao nível da natureza da realidade (ontologia), do conhecimento (epistemologia), dos princípios que inspiram e conduzem a investigação científica (metodologia) e dos instrumentos relativos à implementação prática de uma investigação (métodos e técnicas de investigação) (Celo et al., 2008).

Uma abordagem quantitativa pressupõe a existência de determinadas variáveis, objetivas e medidas em escalas numéricas, utilizando técnicas estatísticas. Neste contexto, a recolha de dados é geralmente realizada através de questionários e entrevistas. Por oposição, numa abordagem qualitativa as variáveis em análise não podem ser medidas, apenas observadas, tratando-se de uma análise indutiva.

A utilização de ambas as abordagens numa mesma investigação permite que, após a seleção pelo investigador de determinado problema com recurso à análise quantitativa, o mesmo possa ser estudado em toda a sua complexidade, por via da utilização de técnicas e métodos qualitativos. O mesmo também pode acontecer em sentido inverso.

Por sua vez, aplicar à investigação em curso a abordagem qualitativa, permitirá alcançar resultados mais flexíveis associados a estratégias inovadoras, identificar tendências ainda não conhecidas, estimular o pensamento do investigador uma vez que incita a exploração e interpretação de respostas, e ainda, explorar os desejos, visões, conhecimentos e outras características do seu público.

Face ao exposto é possível concluir que a opção pela utilização de métodos mistos promove um melhor entendimento sobre o fenómeno, de uma forma que não seria possível com a utilização de uma única abordagem.

No âmbito do presente estudo e no que concerne à abordagem quantitativa, o método utilizado consistiu na aplicação de um questionário, o qual corresponde à principal fonte de recolha de dados. Através das informações obtidas nesta etapa foi possível construir diversas representações gráficas, as quais espelham as respostas obtidas, permitindo retirar um conjunto de ilações.

Por sua vez, a abordagem qualitativa é evidenciada, sobretudo, na análise do resultado das respostas ao questionário, cruzando estes dados com informação previamente recolhida ao nível da caracterização destas empresas, permitindo assim identificar padrões e retirar conclusões que constituirão a base da resposta à questão de investigação. Esta abordagem é crucial para a identificação de padrões e irregularidades sobre a adoção desta tecnologia e sua integração no processo produtivo.

Embora a temática em apreço (MA) não apresente um carácter de novidade, tem registado ao longo dos últimos anos uma evolução muito significativa, justificando, por esse motivo, a realização de estudos empíricos que contribuam para a identificação de padrões e especificidades. Contudo, e uma vez centrada a atenção nas empresas do setor MM, verifica-se uma escassez na literatura ao nível do estudo do impacto desta tecnologia neste setor em particular, constatando-se que a maioria dos estudos se concentram em aplicações gerais. Neste sentido, ressalta-se a importância de existir um forte alicerce teórico como base à análise do conteúdo e do resultado da aplicação do questionário.

### **3.3 Questionário, População e amostra**

#### **3.3.1 Questionário**

Dentro da categoria dos inquéritos, o questionário constitui um dos instrumentos de recolha de dados mais utilizados, podendo ser aplicado como uma ferramenta única ou complementar. A aplicação de questionários para a recolha de dados é geralmente o método recomendado para estudos descritivos e explanatórios, uma vez que permite obter informação sobre um conjunto muito alargado de sujeitos através da aplicação de um conjunto padronizado de perguntas e opções de resposta (Saunders et al., 2019).

A estrutura definida para um questionário constitui um fator chave para a sua eficácia, influenciando o número de respostas, bem como a validade e confiabilidade dos resultados obtidos. Neste âmbito é possível encontrar na literatura diferentes visões e opções relacionadas com a preparação da estrutura de um questionário (Bradburn et al., 2004; Williams, 2003), contudo, é possível identificar uma sequência de procedimentos a seguir:

1. Definição da Pergunta de Investigação para estabelecer o tipo de informação a obter

2. Seleção da População e amostra
3. Conhecer as características da amostra
4. Definir o meio de distribuição, o qual terá um impacto significativo no seu *layout*
5. Elaboração das questões, sendo fundamental usar uma linguagem simples, ser sucinto e específico, evitar o uso de negativas duplas, questões hipotéticas, tendenciosas ou mesmo palavras fortes.
6. Definir a estratégia para o tratamento da informação
7. Testar o questionário

A aplicação desta ferramenta apresenta, assim, várias vantagens, tais como a possibilidade de inquirir um número elevado de sujeitos, mesmo que geograficamente dispersos, com um custo muito reduzido quando comparado com outras ferramentas (Barriera-Viruet et al., 2010). Tratando-se de um instrumento conhecido pela maioria das pessoas, permite reduzir a apreensão dos participantes, facilitando a sua aplicação. Por sua vez, a recolha padronizada de dados facilita a análise dos resultados (Barriera-Viruet et al., 2010).

Contudo, este método compreende também alguns bloqueios e limitações, que estão, de uma forma geral, relacionados com a possibilidade de surgirem perguntas não respondidas o que origina vários desafios metodológicos. Ainda neste contexto e para evitar a existência de perguntas não respondidas, opta-se pela utilização de perguntas de resposta obrigatória, contudo, este formato pode conduzir à redução do número de questionários respondidos. A extensão ou número de perguntas que o questionário deve ter também constitui um desafio, porque se um número reduzido de perguntas pode inviabilizar o alcance de determinado resultado, a existência de um elevado número de perguntas pode gerar desinteresse pelo questionário.

### **3.3.2 População e amostra**

A seleção da população, ou universo estatístico inquirido, teve como base a comunidade industrial nacional do setor MM.

Esta opção prende-se com o facto de o setor MM ter vindo a ocupar, ao longo das últimas décadas, uma posição central no crescimento económico das economias modernas, caracterizando-se por uma forte intensidade exportadora, conforme já abordado no Capítulo 5.

Relativamente à seleção do universo inquirido objeto da aplicação do estudo, ou seja, da população alvo do questionário, importa destacar o papel do Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (CATIM), entidade onde o autor da presente tese desenvolve a sua atividade

profissional, tendo permitido aceder a uma *mailling-list* constituída por 1.318 contactos de empresas suas clientes. O CATIM é uma instituição privada sem fins lucrativos, que tem como missão promover o aumento da intensidade tecnológica, difusão e promoção da inovação como ferramentas para a melhoria da competitividade do tecido empresarial, em particular das empresas do setor MM, revelando-se, por este motivo, uma ligação-chave às empresas do setor, as quais constituem o principal foco de trabalho desta investigação. Importa ainda destacar esta entidade enquanto um importante *player* para o sistema de educação e formação nacional (VET - *vocational education and training*), por via do reforço das competências e qualificação dos recursos humanos das empresas, contribuindo para o emprego qualificado e configurando uma área estratégica para a competitividade das mesmas e coesão social (Peliz et al., 2021).

Após seleção da população a inquirir seguiu-se o envio do questionário (modelo em anexo), considerando a *mailling-list* cedida pelo CATIM. No seguimento da aplicação deste questionário, obteve-se 80 respostas válidas (amostra obtida), o que representa 6,1% da amostra seleccionada (1318 empresas), e cujo conteúdo será então objeto de análise no âmbito do presente estudo.

### **3.4 Instrumentos de recolha de dados**

Tal como referido no ponto anterior, os dados recolhidos e analisados no âmbito deste estudo foram obtidos através da aplicação de um questionário a empresas do setor MM de Portugal. Para a seleção das empresas teve-se em consideração uma *mailling-list* disponibilizada pelo CATIM, constituída pelos contactos de 1318 empresas clientes. O CATIM integra a rede de Centros de Interface Tecnológico, tendo como missão o apoio técnico, tecnológico, normativo e formativo à indústria do setor MM, no seu caminho rumo a níveis de competitividade e inovação acrescidos, contribuindo para a promoção e dinamização do sector.

Assim, o processo de recolha de dados teve como base a estruturação e disponibilização de um questionário a um conjunto expressivo de empresas. Este questionário foi enviado via email, em março de 2019, destinando-se aos responsáveis da área de produção destas empresas.

Ao nível da sua estrutura, este questionário resultou do estudo prévio realizado aquando da revisão da literatura, permitindo a identificação das questões mais pertinentes no sentido de obter resposta à questão de investigação previamente identificada. Em momento prévio à aplicação do questionário, o mesmo foi proposto à discussão pelos demais envolvidos no programa doutoral, no sentido de recolher opiniões e contributos. Durante a Conferência Doutoral organizada pelo Programa Doutoral em Avaliação de Tecnologia, em junho de 2012, foi apresentada uma versão preliminar. Por fim, foram realizadas aplicações piloto com a pretensão de testar o questionário e obter sugestões/

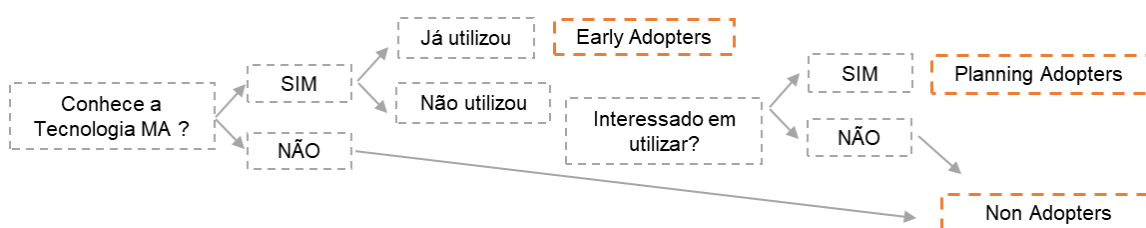
recomendações adicionais por parte dos inquiridos, tendo estes sido selecionados justamente com a finalidade de avaliar previamente se as questões formuladas no âmbito deste questionário permitiriam alcançar a informação pretendida.

O documento apresentado em Anexo corresponde à versão final aplicada. Abaixo listam-se os principais aspetos abordados no âmbito do questionário:

8. Identificação da empresa e do elemento de contacto
9. Adoção da tecnologia pela empresa (incorporação ou outsourcing)
10. Colaboradores afetos ou a afetar à área
11. Finalidade na utilização desta tecnologia
12. Benefícios/vantagens na adoção desta tecnologia
13. Limitações/Dificuldades na adoção desta tecnologia
14. Questões relacionadas com segurança

A estrutura definida para este questionário permitiu ainda identificar e organizar as empresas que participaram no estudo em grupos homogéneos, ou seja, em *clusters*, e de uma forma esquemática, considerando, por um lado, o conhecimento que têm desta tecnologia bem como a sua intenção na adoção da mesma. Desta análise resulta a seguinte estrutura:

**Figura 3.1 - As Empresas do Estudo em Clusters**



Fonte: Elaboração própria

### 3.5. Análise Qualitativa

Tal como já referido, para o presente estudo optou-se por combinar técnicas quantitativas e qualitativas, ou seja, seguir por uma metodologia de investigação mista, tendo como objetivo alavancar a possibilidade de obter interpretações mais apuradas, ou, pelo menos, mais completas sobre o

fenómeno de investigação, permitindo ainda aumentar a densidade e profundidade de informações a explorar, acrescentar valor aos resultados da investigação e identificar tendências ainda não conhecidas.

Por sua vez, a aplicação deste método à investigação revelou-se essencial uma vez que, após análise dos dados estatísticos que foram recolhidos, as conclusões retiradas revelaram-se insuficientes, estando relacionado, principalmente, com o facto de o conhecimento associado a esta temática ser sobretudo tácito, estando ainda concentrado num número reduzido de especialistas. Este assunto foi também abordado no ponto 1.4, onde se concluiu a importância de combinar ambos os métodos, complementando o conhecimento explícito com o conhecimento tácito.

Para esta análise partiu-se do conhecimento adquirido ao longo da revisão de literatura sobre o tema em estudo, relacionando o mesmo com a informação recolhida. Efetivamente, o fundamento teórico destes assuntos e a pesquisa de estudos empíricos que tocam estes temas são de grande importância para a observação técnica e aprofundada das informações recolhidas com base na análise quantitativa. Por outro lado, no decorrer da recolha de dados para a análise quantitativa foi possível constatar alguma escassez de dados associados à evolução e caracterização desta tecnologia, o que corrobora a importância e pertinência de complementar com a análise qualitativa.

Existe uma diversidade de métodos associados à análise qualitativa. Na presente investigação optou-se pelo método da Análise Temática, conforme proposto por Virginia Braun e Victoria Clarke (Braun & Clarke, 2006), investigadoras em psicologia. Este método visa identificar, analisar, interpretar e descrever padrões (temas) a partir de dados quantitativos. Assim, tendo em consideração o “banco de dados” começou-se por identificar o tema principal, ou seja, aquilo que se destaca pela sua relevância face aos restantes dados. De acordo com a análise de Clarke (2017), importa destacar dois temas distintos: o *bucket theme* e o *storybook theme*. O *bucket theme* resulta da sistematização do principal conteúdo das respostas dos inquiridos, correspondendo a uma análise superficial dos dados. Pelo contrário, o *storybook theme* consiste num tratamento interpretativo, criativo e perspicaz dos dados, com a imersão e o ajuste necessário. Para a presente investigação optou-se por seguir por este último tema.

Ainda neste âmbito importa identificar previamente qual a orientação da análise temática, a qual poderá assumir-se como indutiva (a codificação e o desenvolvimento do tema são direcionados pelo conteúdo dos dados), dedutiva (a codificação e o desenvolvimento do tema são direcionados por conceitos ou ideias existentes), semântica (a codificação e o desenvolvimento do tema refletem o conteúdo explícito dos dados), latente (a codificação e o desenvolvimento do tema refletem conceitos e suposições que sustentam os dados), realista/crítica (foco em descrever uma realidade presumida evidente nos dados);

ou construcionista (centra-se em observar como uma determinada realidade é criada pelos dados). Para o estudo em causa seguir-se-á uma análise mais orientada para os dados, e por isso indutiva.

Seguindo então o método de Braun e Clarke (Braun & Clarke, 2006), a análise qualitativa será integrada num processo constituído por seis etapas, as quais não obedecem a regras fixas, mas sim a um conjunto de orientações mais amplas. Deste modo podemos concluir que a flexibilidade constitui um aspeto fundamental neste tipo de pesquisa e que este processo de análise não é linear, ou seja, o percurso pelas várias etapas pode não assumir apenas uma direção, podendo ser necessário, a qualquer momento, visitar algumas fases precedentes. O quadro seguinte apresenta um resumo de cada uma das etapas que constituem a análise qualitativa:

**Tabela 3.1 - Etapas a observar na análise qualitativa**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
1. Familiarização	Imersão nos dados recolhidos para familiarização com seus conteúdos em profundidade e amplitude. Esta imersão envolve uma leitura ativa, que permita identificar significados, padrões, ou seja, que permita identificar temas por via de uma abordagem teórico-dedutiva ou indutiva e baseada nos dados.
2. Codificação inicial	Codificação inicial a partir dos dados recolhidos e analisados. Apesar de se diferenciarem dos temas (estes últimos são normalmente mais abrangentes), os dados codificados dependem, até certo ponto, da forma como os temas são construídos: podem ser construídos mais <i>data-driven</i> (dependentes dos dados) ou mais <i>theory-driven</i> (dados são abordados a partir de questões específicas que o investigador tem em mente e que usa para orientar a sua codificação).
3. Identificação dos temas	Análise interpretativa dos dados, permitindo o desenvolvimento dos argumentos em relação ao fenómeno em estudo. Trata-se de classificar os diferentes códigos em temas, ou seja, combinar diferentes códigos para formar um tema abrangente ( <i>overarching theme</i> ). Esta etapa permite ainda identificar relações entre os códigos, entre os temas ou entre diferentes níveis de temas (por exemplo: temas abrangentes e seus subtemas). Alguns códigos iniciais podem formar temas principais, outros podem formar subtemas, e outros ainda podem ser até suprimidos. O resultado desta etapa são então candidatos a temas.
4. Revisitar os temas	Esta etapa visa a revisão dos temas, podendo identificar alguns candidatos que não serão considerados temas definitivos. Isso ocorre quando não há dados suficientes para apoiar estes temas, ou se os dados são muito heterogéneos. Também pode observa-se a conjugação ou divisão de temas. Resumidamente, os dados compreendidos em cada um dos temas devem formar um padrão sendo ainda necessário que cada tema se distinga claramente dos restantes.
5. Definir e nomear os temas	Esta etapa inicia-se com um mapa temático satisfatório dos dados, seguindo-se a definição e identificação da história retratada por cada tema, sendo ainda crucial considerar como esta história se encaixa na história maior que está associada aos dados e na relação com a pergunta ou perguntas de investigação, por forma a assegurar que não há sobreposição de temas. O mapa temático final deverá assim

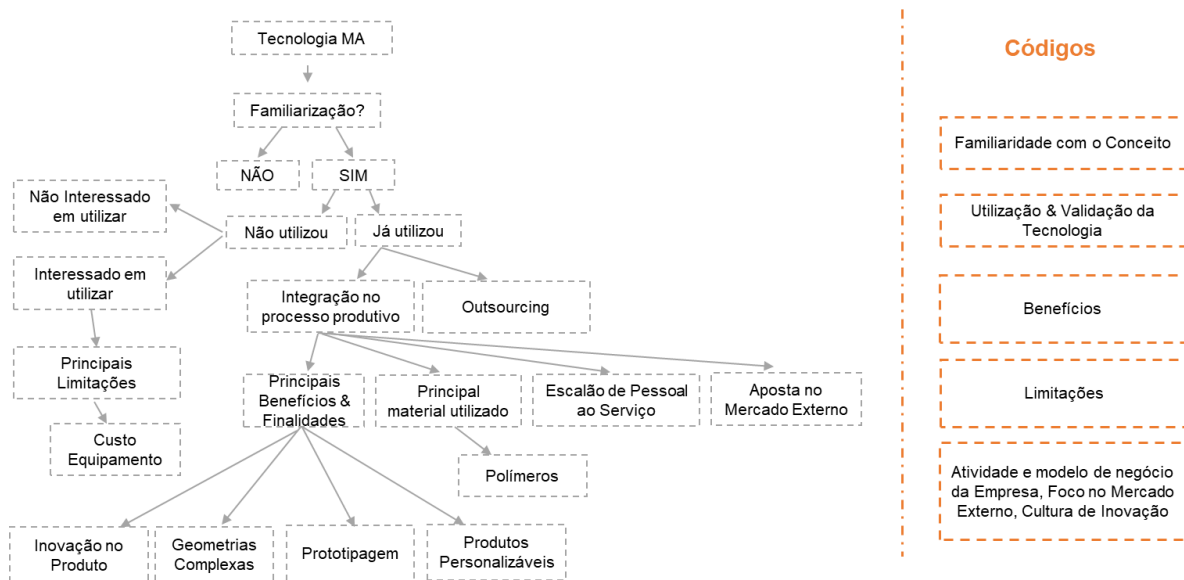
Etapa	Descrição
	obedecer ao critério de dupla via de Patton (Patton 2015): homogeneidade interna e heterogeneidade externa.
6. Produzir o relatório	A Etapa 6 inicia com a análise final e escrita do relatório.

Fonte: Adaptado de (Braun & Clarke, 2006)

Segue-se então a aplicação deste método ao caso em estudo, considerando os dados entretanto recolhidos e tratados no ponto precedente.

Após a fase de imersão nos dados recolhidos, segue-se a sua codificação. Neste caso em particular, estando em causa respostas “fechadas”, a tarefa de codificação encontra-se facilitada (Figura 3.2).

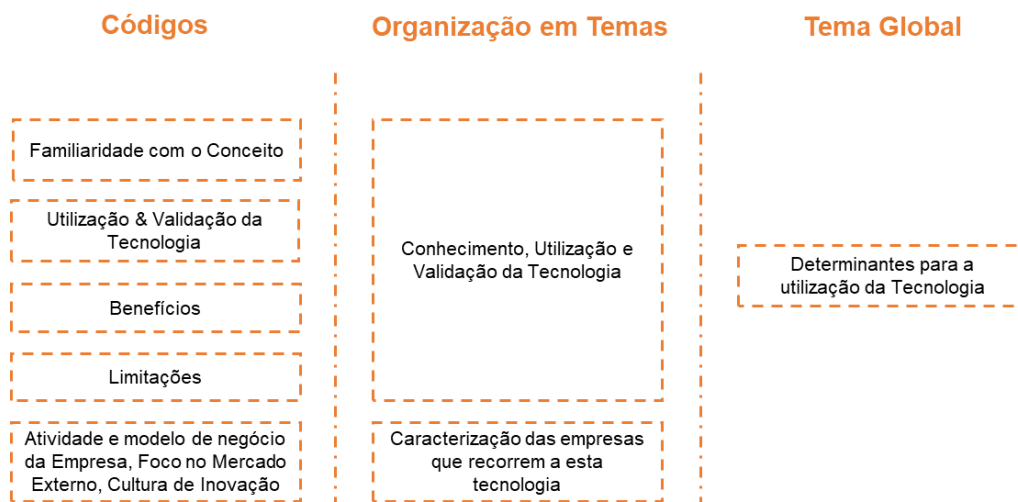
**Figura 3.2 - Codificação dos dados**



Fonte: Elaboração própria

Segue-se então a identificação e organização dos principais temas e identificação do Tema Geral no qual se centra toda esta análise (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Dos códigos ao Tema Global

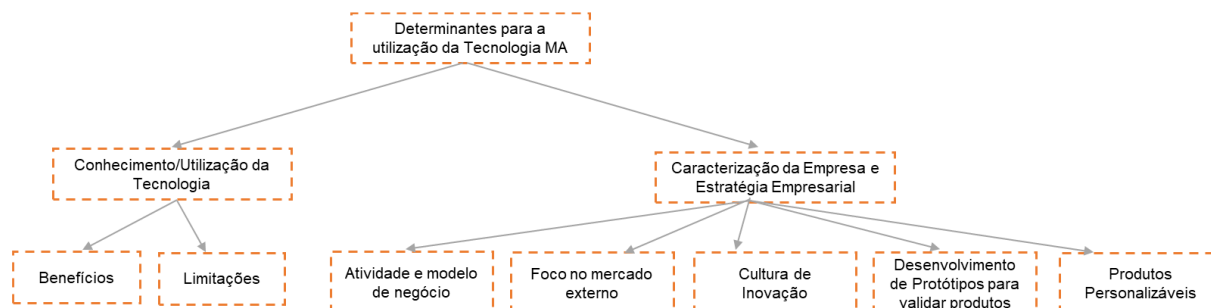


Fonte: Elaboração própria

Esta análise culmina, assim, no mapeamento temático (Figura 3.4) o qual permite esquematizar e contar a história dos dados e sua ligação e contribuição para a investigação: a edificação e disponibilização do questionário permitiu recolher informação para a identificação dos principais determinantes da utilização da tecnologia de MA. No seguimento da análise dos dados recolhidos é possível concluir que existem dois tipos de determinantes:

1. **Conhecimento/Utilização da Tecnologia:** o conhecimento e experiência que advém da sua utilização constitui um fator determinante ao nível da validação e incentivo à utilização desta tecnologia por outras empresas (efeito de arrastamento), uma vez que permite identificar os principais benefícios e oportunidades, bem como as limitações e dificuldades que decorrem da integração desta tecnologia no processo produtivo, ou mesmo da sua utilização recorrendo ao outsourcing;
2. **Estratégia Empresarial:** empresas que adotem uma cultura de inovação, que procurem o desenvolvimento e melhoria dos seus produtos, que estejam focadas no cliente e na oferta de produtos personalizáveis, com forte orientação para o mercado externo, são aquelas que demonstram maior aptidão na adoção/integração desta tecnologia, permitindo assim identificar estes fatores como determinantes na sua adoção/integração.

Figura 3.4 - Mapa Temático Final



Fonte: Elaboração própria



## ***CAPÍTULO 4 - O IMPACTO DA MANUFATURA ADITIVA NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS DA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA***

O presente capítulo aborda a aplicação empírica proposta no presente estudo. Todos os capítulos que o antecedem revestem-se de especial importância ao nível da contextualização e discussão de assuntos que permeiam a problemática em causa, contudo, este é o capítulo que concentra as principais ilações retiradas de todo o trabalho que foi desenvolvido.

A contribuição enquanto estudo científico é sustentada pela identificação de limitações existentes na literatura e a originalidade ao nível das suas análises. Os estudos empíricos já existentes são, efetivamente, de grande importância para o enriquecimento dos alicerces teóricos, contudo, uma vez se tratar de uma tecnologia que se caracteriza por uma rápida mudança, os estudos existentes acabam por ser insuficientes, existindo ainda um vasto campo de análise. Por sua vez e no que respeita ao caso de estudo em concreto (aplicação na indústria do setor MM), confirma-se a ausência de estudos que permitam analisar o impacto desta tecnologia na competitividade destas empresas. Efetivamente, o tema em causa já não é novo, contudo têm-se observado sucessivos desenvolvimentos quer ao nível tecnológico quer ao nível dos processos e materiais utilizados, o que justifica, uma vez mais, a aposta na realização de estudos empíricos, considerando a análise de setores distintos e empresas em diferentes estados de maturidade ao nível da introdução desta tecnologia no seu processo produtivo. No presente estudo, e tal como já referido no capítulo precedente, a análise centrou-se nas empresas da indústria metalomecânica nacional.

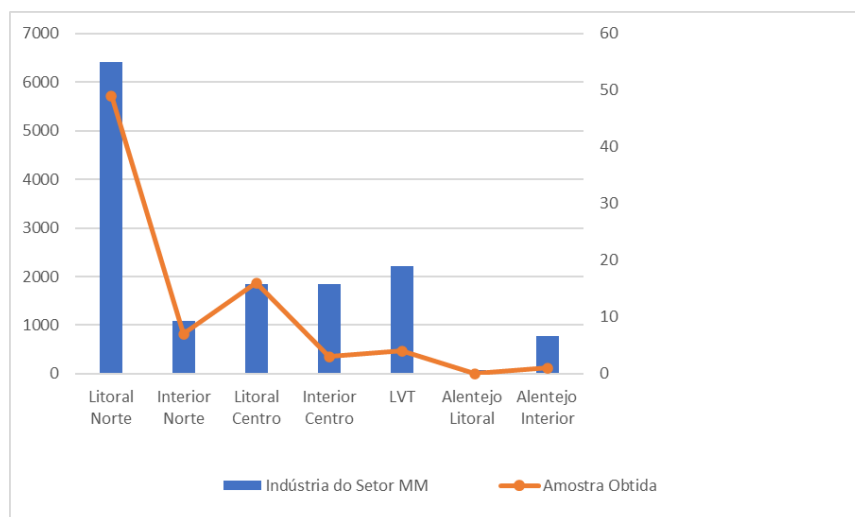
Por fim, espera-se que o presente capítulo possa contribuir para a adaptação da estratégia definida por estas e outras empresas no sentido de alcançar os objetivos traçados com a implementação desta tecnologia, os quais se cruzam, na sua generalidade, com a questão do aumento da competitividade destas empresas.

### **4.1 Principais características da amostra obtida**

Centrando a atenção na amostra selecionada para este estudo (Subcapítulo 3.3.2), mais concretamente nas empresas que responderam ao questionário (adiante identificadas como amostra obtida), e confrontando os dados recolhidos com dados gerais do setor MM, podemos retirar as seguintes conclusões:

- a. Analisando a distribuição nacional (Portugal Continental) da amostra obtida, constata-se uma ampla representatividade geográfica, com destaque para o Litoral Norte (61%), o que corrobora a distribuição geográfica das sedes sociais das empresas que compõem o setor (Gráfico 4.1);

**Gráfico 4.1 - Distribuição Geográfica (NUTS - 2013) da amostra obtida (N.º) e da Indústria do Setor MM (N.º)**

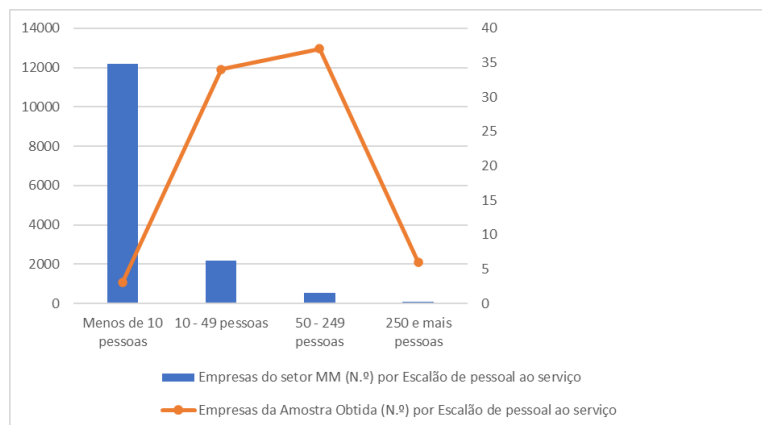


Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Sistema de contas integradas das empresas. Período de referência: 2018; Respostas ao Questionário.

- b. Ao nível do escalão de pessoal ao serviço, destacam-se (Gráfico 4.2) as empresas com 10 - 49 colaboradores (43%) e as empresas com 50 – 249 colaboradores (46%). Confrontando com os dados gerais do setor, o destaque vai para as empresas com um número inferior a 10 colaboradores, seguidas então das empresas com 10-49 colaboradores.

**Gráfico 4.2 – Amostra Obtida (N.º) e empresas do Setor MM (N.º), por escalão de pessoal ao serviço**

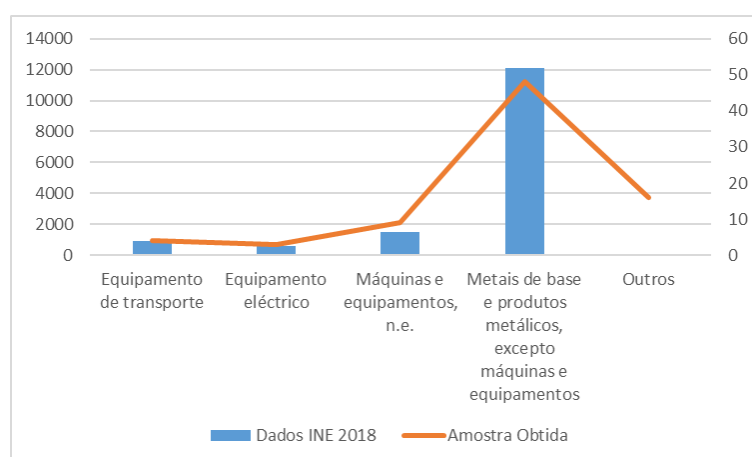


Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Sistema de contas integradas das empresas. Período de referência: 2018; Respostas ao Questionário.

- c. No que concerne à atividade económica da amostra obtida e confrontando estes dados com os dados disponibilizados pelo INE para as empresas do setor, relativos a 2018 (Nº de empresas por Atividade económica: Subclasse - CAE Rev. 3) é possível confirmar o peso das empresas dedicadas à produção de metais de base, produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos (Gráfico 4.3).

**Gráfico 4.3 - Distribuição da amostra obtida por Ramo de Atividade, comparando com a distribuição das empresas do Setor MM (2018)**

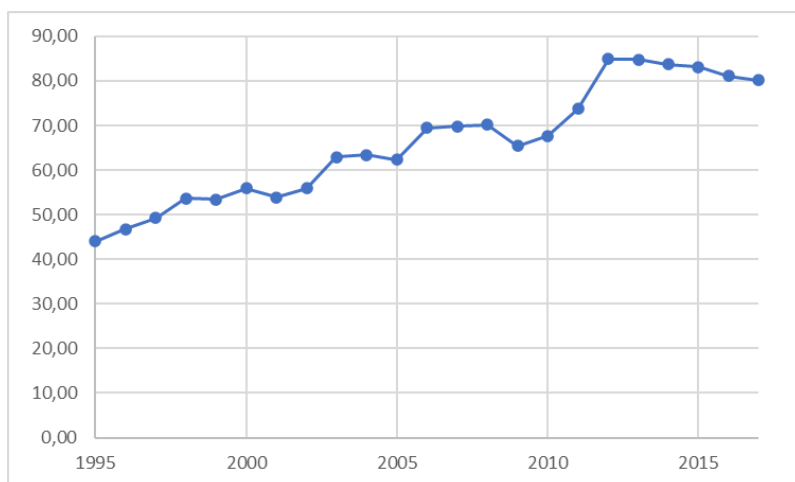


Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE, Sistema de contas integradas das empresas; Respostas ao Questionário

- d. Quando analisada a distribuição (em percentagem) do volume de faturação proveniente do mercado interno e do mercado externo (exportações), e em conformidade com o cenário global do setor MM (Gráfico 4.4), constata-se que relativamente à amostra obtida o mercado externo apresenta um peso superior ao mercado interno (Gráfico 4.5).

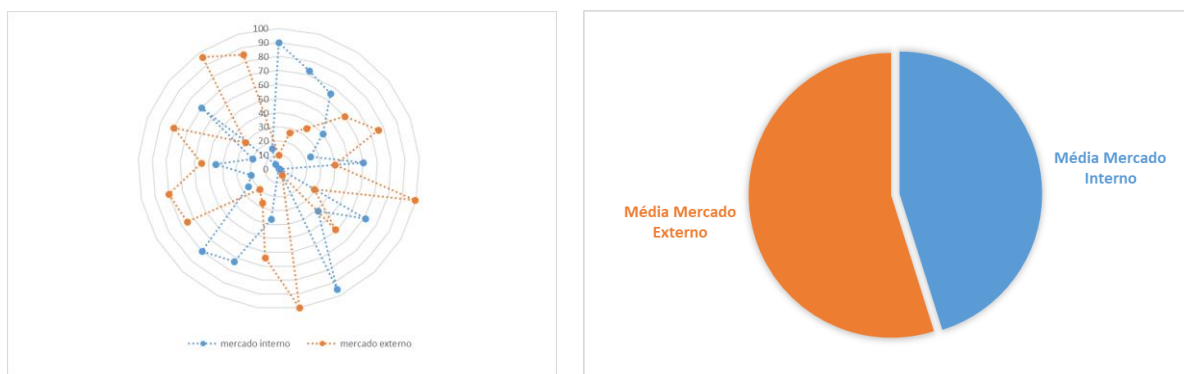
**Gráfico 4.4 - Evolução média da intensidade exportadora do setor MM**



Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: INE - Contas Nacionais Anuais (Base 2016)

**Gráfico 4.5 - Volume de Faturação da amostra obtida associado ao mercado interno e mercado externo (%)**



Fonte: Elaboração própria

Fonte dos Dados: Informação do Questionário.

Face aos resultados alcançados e no que concerne ao peso das exportações no total da faturação das empresas da amostra, é uma vez mais confirmada a importância dos mercados externos para esta indústria, o que, por sua vez, é responsável pela crescente reputação e notoriedade associada aos seus produtos. Num período marcado por dificuldades emergentes, as empresas do setor MM têm-se destacado pela adoção de uma postura resiliente, num esforço contínuo para se manterem competitivas, procurando consolidar a sua posição nos mercados externos.

## 4.2 Análise Quantitativa

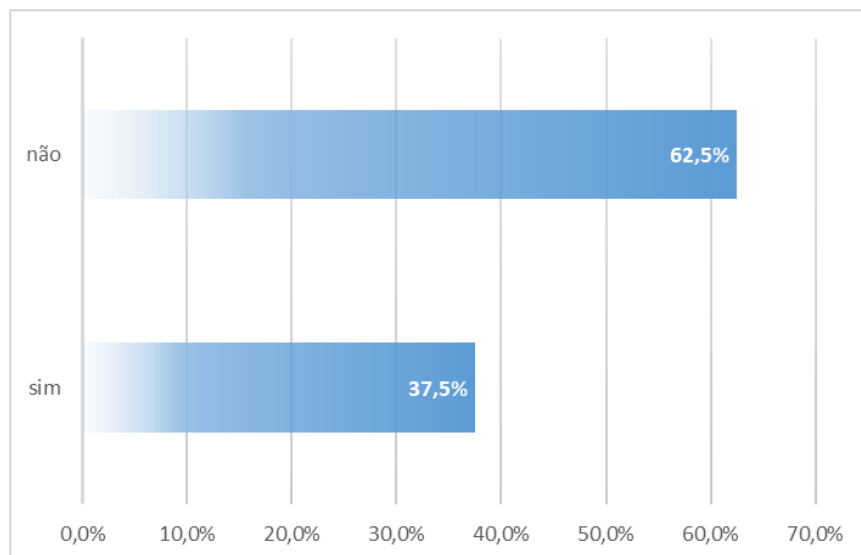
Aquando da criação do questionário optou-se pela utilização da ferramenta *Microsoft Forms*. Para além de se tratar de uma interface de utilização intuitiva e simples, acessível por, praticamente, qualquer navegador da Web ou dispositivo móvel, esta ferramenta permite consultar e analisar os resultados em tempo real, bem como, exportar os mesmos para Excel, facilitando a sua análise e tratamento.

Ao nível da análise e tratamento destes dados (respostas a cada uma das questões do questionário) recorreu-se à estatística descritiva, que permitiu organizar e sistematizar os mesmos. Por sua vez, para facilitar a leitura destes dados recorreu-se à sua representação gráfica (gráficos de barras e gráficos circulares).

Após análise das respostas às duas primeiras questões, foi possível obter algumas conclusões imediatas:

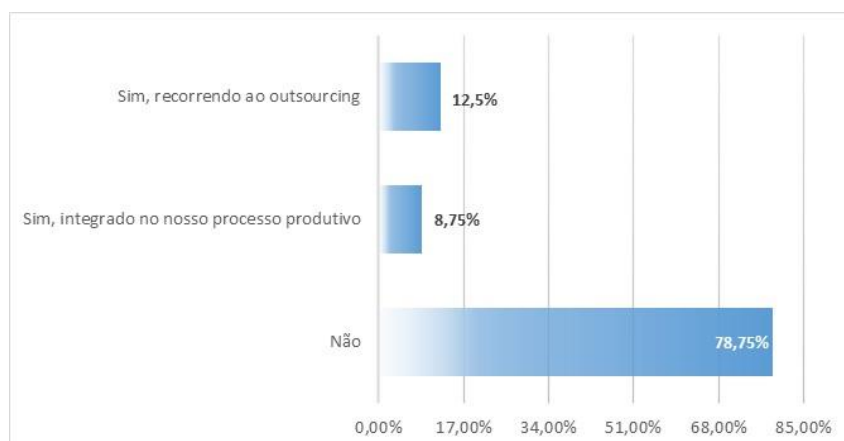
- a) mais de metade (63%) das empresas inquiridas não está, sequer, familiarizada com a tecnologia MA (Gráfico 4.6).
- b) 79% das empresas inquiridas afirma nunca ter utilizado a tecnologia de AM (Gráfico 4.7).
- c) 13% das empresas inquiridas refere que já recorreu a esta tecnologia por via do *outsourcing* (Gráfico 4.8).

**Gráfico 4.6 - Está familiarizado com a tecnologia de Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D?**



Fonte: Elaboração própria

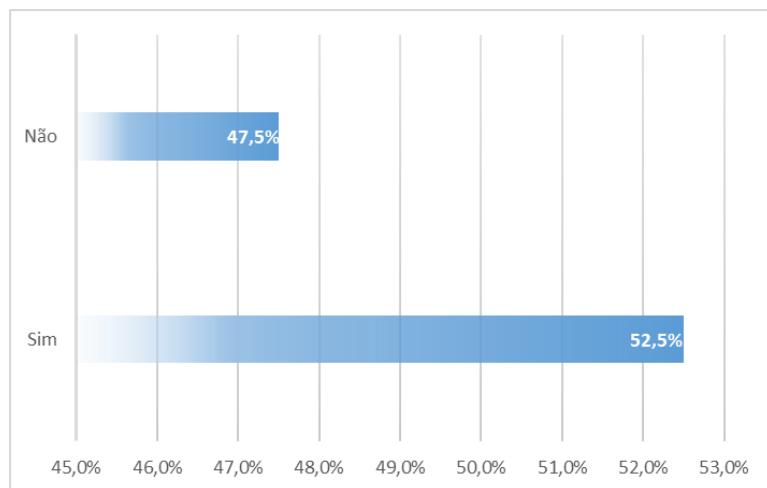
**Gráfico 4.7 - Já utilizou/utiliza a tecnologia de MA na sua empresa?**



Fonte: Elaboração própria

Contudo, tendo em consideração as empresas que não conhecem e/ou nunca recorreram a esta tecnologia, 53% está interessada em utilizar e incorporar esta tecnologia no seu processo produtivo (Gráfico 4.8), as quais integram assim o cluster “*Planning Adopters*”.

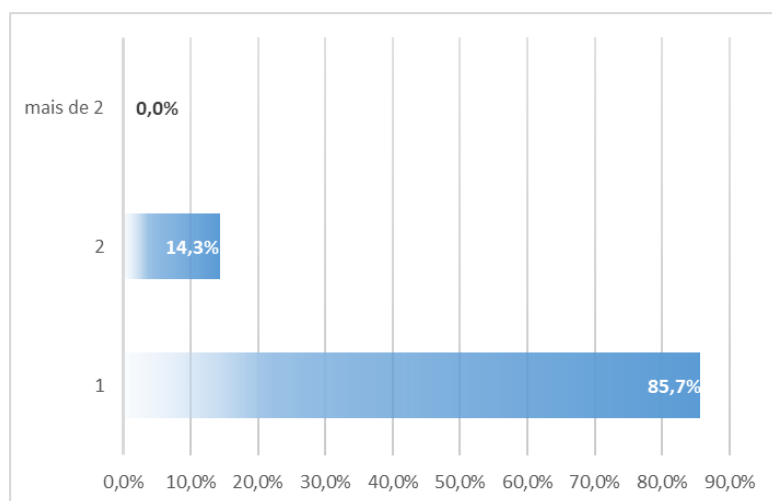
**Gráfico 4.8 - Estaria interessado em utilizar esta tecnologia, incorporando-a no seu processo produtivo?**



Fonte: Elaboração própria

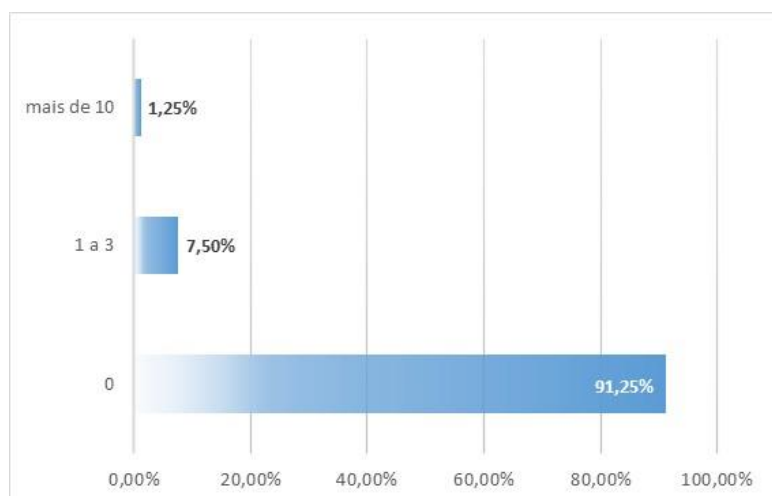
Por sua vez, tendo em consideração as empresas que já incorporaram esta tecnologia (*Early Adopters*) no seu processo produtivo, 86% refere que utilizou apenas 1 equipamento (Gráfico 4.9), tendo imputado a este processo entre 1-3 empregados (Gráfico 4.10).

**Gráfico 4.9 - Quantos equipamentos de MA utilizam?**



Fonte: Elaboração própria

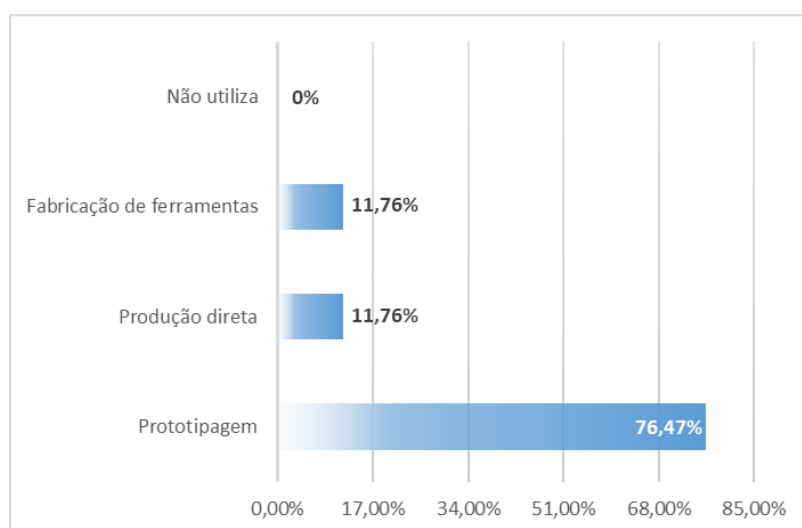
**Gráfico 4.10 - Quantos colaboradores estão afetos ao trabalho com esta tecnologia (MA)**



Fonte: Elaboração própria

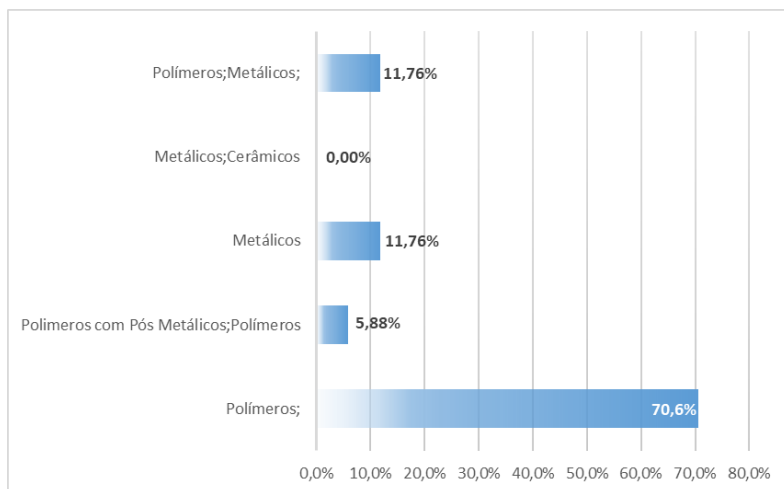
Ainda no que se refere às empresas que referiram que já recorreram/recorrem a esta tecnologia, por incorporação da mesma no processo produtivo ou por recurso ao *outsourcing*, 76% refere que esta utilização se destinou/destina à Prototipagem (Gráfico 4.11). Por sua vez, no que se refere ao material utilizado para a produção recorrendo a esta tecnologia, 71% destas empresa optou pela utilização de Polímeros (Gráfico 4.12).

**Gráfico 4.11 - Utiliza/utilizou esta tecnologia para que finalidade?**



Fonte: Elaboração própria

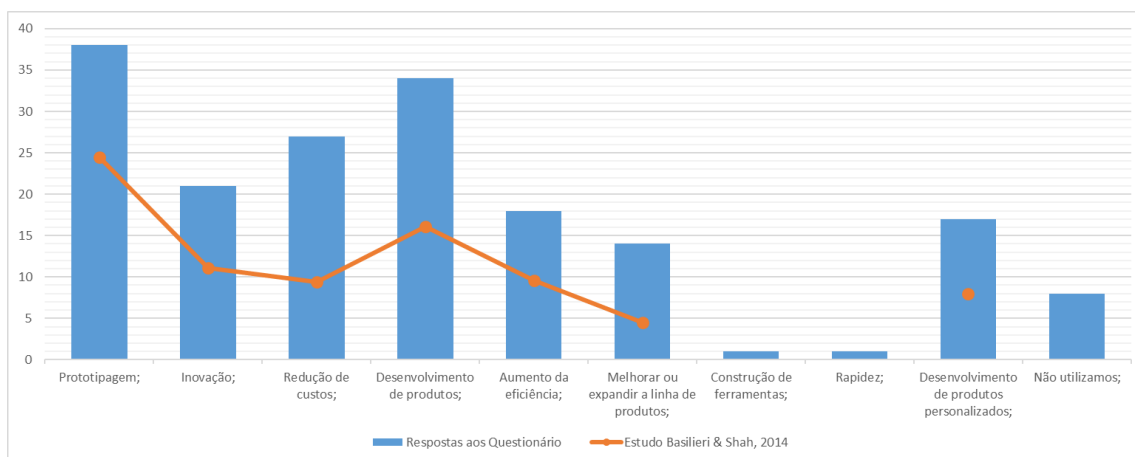
**Gráfico 4.12 - Que tipos de materiais utiliza/utilizou?**



Fonte: Elaboração própria

Considerando, agora, a totalidade das empresas inquiridas, no que concerne às razões que podem/poderão estar na base da adoção da tecnologia de MA, destaca-se, uma vez mais, a questão da prototipagem e também o desenvolvimento de produtos (Gráfico 4.13). Confrontado estes dados com o dados recolhidos pela consultora Gartner (Meulen & Rivera, 2014), e incorporando os mesmos no Gráfico 4.13, podemos confirmar esta directriz.

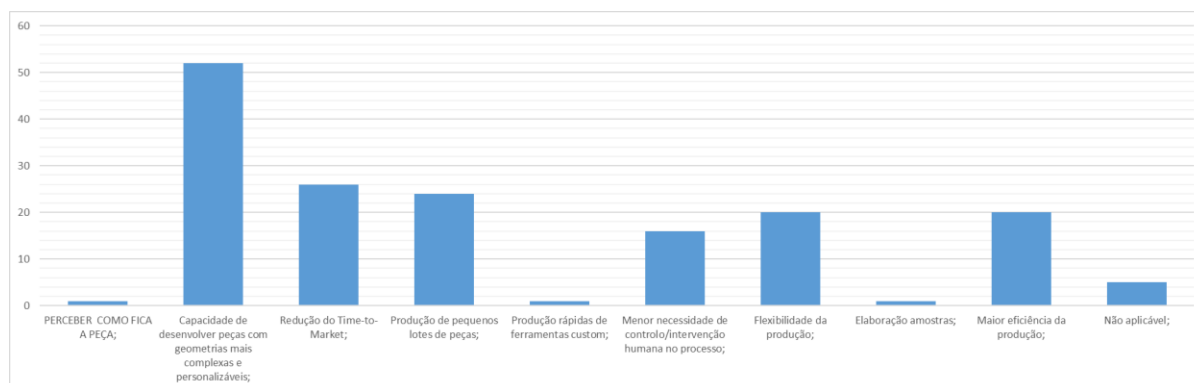
**Gráfico 4.13 - Quais as razões que estão/estariam/estiveram na base da adoção da tecnologia de MA pela sua empresa?**



Fonte: Elaboração própria

No que concerne aos principais benefícios/vantagens associados a esta tecnologia, as empresas destacam a capacidade de desenvolver peças com geometrias mais complexas e personalizáveis, a redução do *time-to-market*, bem como a produção de pequenos lotes de peças (Gráfico 4.14).

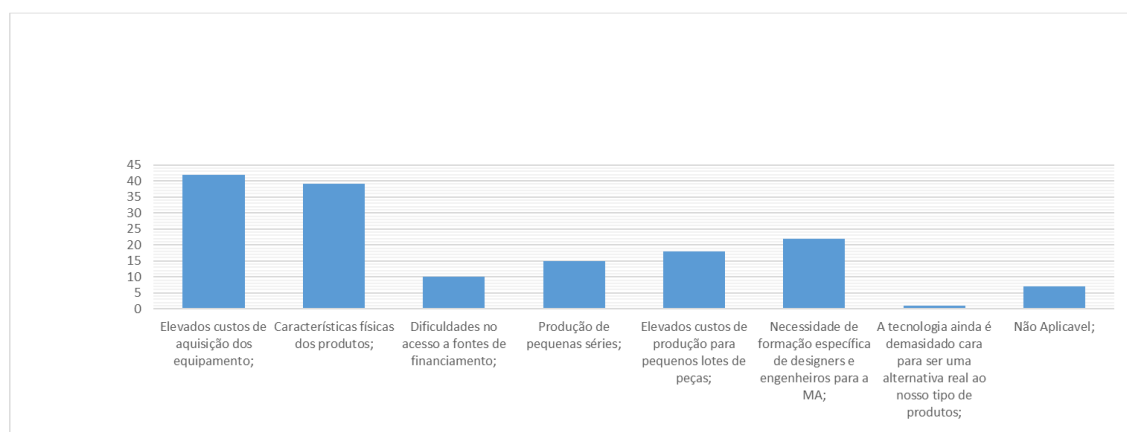
**Gráfico 4.14 - Quais os principais benefícios/vantagens que associa à tecnologia de manufatura aditiva?**



Fonte: Elaboração própria

Já no que se refere às principais limitações/dificuldades associadas à implementação desta tecnologia, as empresas destacam os elevados custos de aquisição dos equipamentos, as características físicas do produto, bem como a necessidade de formação específica de designers e engenheiros para a MA (Gráfico 4.15).

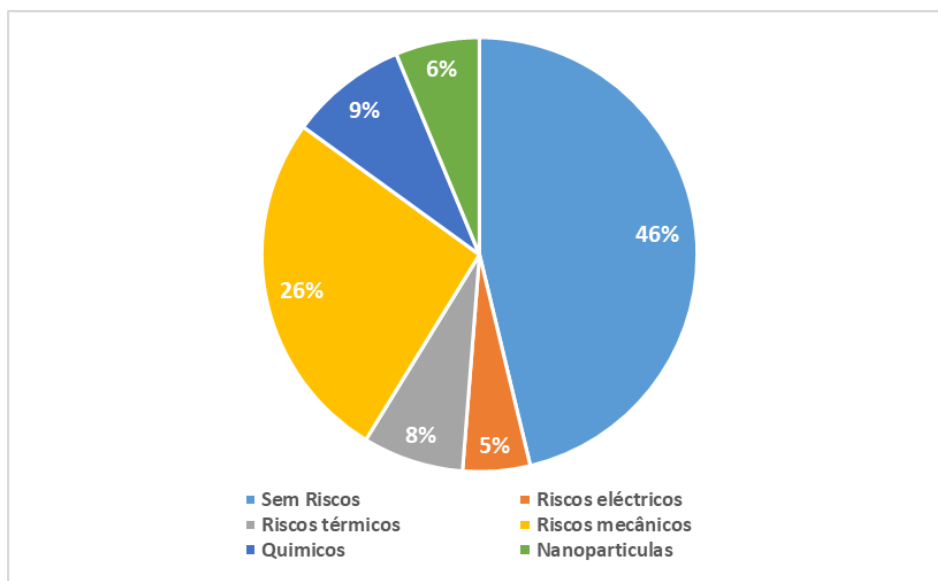
**Gráfico 4.15 - Quais as principais limitações/dificuldades que associa à implementação da tecnologia de manufatura aditiva?**



Fonte: Elaboração própria

Por fim, no que respeita às questões de segurança, a maioria das empresas (46%) não reconhece quaisquer riscos associados a esta tecnologia. Contudo, 26% das empresas identifica os riscos mecânicos como aqueles que podem suscitar maiores preocupações ao nível da segurança na utilização destes equipamentos (Gráfico 4.16).

**Gráfico 4.16 - Na sua opinião que tipo de questões relacionadas com segurança associa a esta tecnologia?**

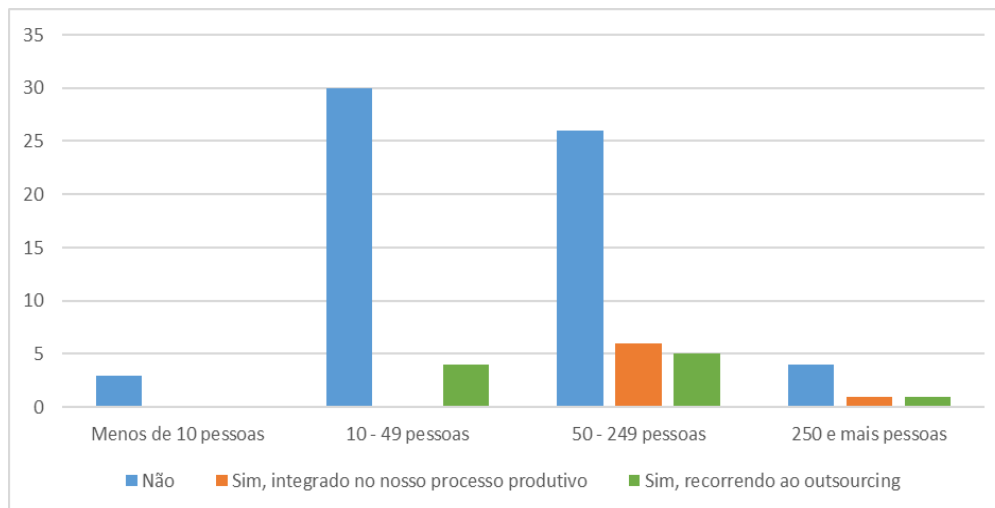


Fonte: Elaboração própria

Cruzando, ainda, alguns dados que estiveram na base da caracterização das empresas do estudo (escalão de pessoal ao serviço e aposta no mercado externo) com os dados recolhidos relativamente ao grau de maturidade destas empresas no que respeita ao conhecimento e adoção desta tecnologia, é possível retirar algumas ilações e relações, que se revelarão determinantes ao nível da resposta à questão de investigação:

- a. Relação entre a dimensão da empresa (considerando o escalão de pessoal ao serviço) e a adoção desta tecnologia (Gráfico 4.17): quando analisadas as empresas que referem que já utilizaram/utilizam esta tecnologia, constata-se que são, na sua maioria, médias empresas (50-249 pessoas ao serviço). Por sua vez, concentrando a análise nas empresas com 10-49 pessoas ao serviço, aquelas que já recorreram a esta tecnologia optaram pelo outsourcing.

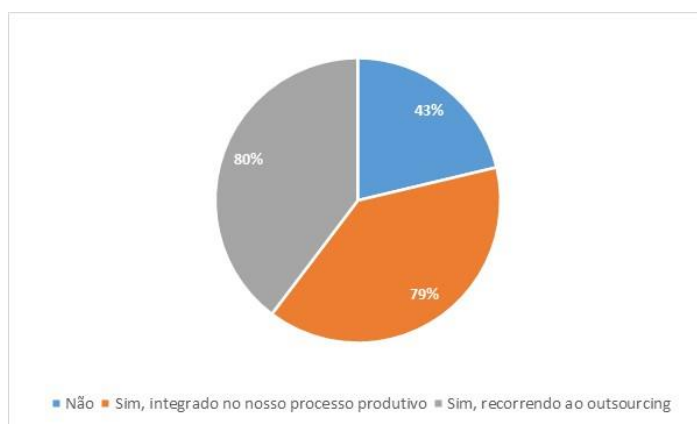
**Gráfico 4.17 - Respostas ao Questionário: Relação entre a dimensão da empresa (considerando o escalão de pessoal ao serviço) e a adoção desta tecnologia**



Fonte: Elaboração própria

- b. Relação entre a percentagem de exportação e a adoção desta tecnologia (Gráfico 4.18): quando analisada e comparada a média da taxa de exportação das empresas que nunca utilizaram esta tecnologia com as empresas que já a utilizaram, os resultados são muito expressivos, testemunhando a relação positiva que existe entre as empresas que já adotaram a tecnologia e a sua propensão para o mercado externo.

**Gráfico 4.18 - Média da taxa de exportação das empresas que utilizam e não utilizam a tecnologia de MA**



Fonte: Elaboração própria

### 4.3 Os Determinantes da Utilização da MA e os Critérios Competitivos

No seguimento da exposição efetuada no Capítulo 3 – Metodologia e no ponto precedente deste Capítulo 4 (4.2 – Análise Quantitativa) e tendo em consideração as principais ilações retiradas nos subcapítulos 2.9 e 2.10, as quais decorrem do estudo e avaliação do impacto da tecnologia de MA na competitividade das empresas do setor, procedeu-se ao cruzamento desta informação, com a indicação, para cada um dos impactos identificados na Tabela 2.8 (O impacto da MA nos critérios competitivos, aqueles que corroboram os resultados na análise empírica, através da introdução de uma nova variável (nova coluna na tabela), com a designação “Determinantes da Utilização da Tecnologia de MA”.

Relativamente aos determinantes para a utilização da tecnologia de MA, foram considerados quer os resultados da análise quantitativa às respostas ao questionário (Subcapítulo 4.2), quer os resultados da análise qualitativa (Mapa Temático Final, Subcapítulo 3.5). Deste modo, segue a lista dos principais determinantes da utilização da tecnologia de MA, assinalados pelas empresas inquiridas (Tabela 4.1) e sua relação com o impacto que terão ao nível competitivo e, conseqüentemente, ao nível da adoção da tecnologia.

**Tabela 4.1 – Principais Determinantes para a Utilização da Tecnologia de MA, de acordo com as empresas do estudo**

IMPACTO	DETERMINANTES
POSITIVO	Peças com geometrias complexas e personalizáveis
	Redução do <i>Time-to-Market</i>
	Pequenos lotes
	Flexibilidade da produção
	Eficiência da Produção
	Cultura de Inovação
	Foco no cliente
	Forte orientação para o mercado externo
NEGATIVO	Custo do Equipamento
	Características físicas dos produtos
	Necessidade de Formação específica

Fonte: Elaboração própria

Identificados os principais determinantes, procedeu-se ao seu cruzamento com os principais critérios competitivos e impactos da tecnologia, do qual resultou a análise que consta na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Relação entre Impactos, Determinantes e os Critérios Competitivos, num contexto de aplicação da MA**

IMPACTO DA MA		DETERM. NA UTILIZ. DA MA (EMPRESA DO ESTUDO)	CRITÉRIOS COMPETITIVOS				
			CUSTO	QUALIDADE	FLEXIBILIDADE	DESEMPENHO ENTREGA	INOVAÇÃO
IMPACTO POSITIVO	Redução do desperdício de materiais	X	X				
	Redução do consumo de energia	X	X				
	Eliminação da necessidade de ferramentas		X			X	
	Produção no local	X	X				
	Redução/eliminação dos custos de transporte	X	X				
	Redução/eliminação dos custos armazenamento	X	X				
	Liberdade de design, geométrica e dos materiais utilizados	X			X		
	Produtos complexos e personalizados	X			X		X
	Produtos economicamente viáveis para o cliente final				X		
	Customização em massa				X		
	Redução das interrupções nas operações	X			X		
	Utilização de materiais dos mais diversos tipos				X		
	Produção por encomenda					X	
	Produção de pequenos lotes	X				X	
	Redução de Stocks e de prazos de entrega					X	
	Resposta rápida à procura de mercado					X	
	Celeridade na fase de desenvolvimento do produto						X
	Produção de protótipos a baixo custo	X					X

IMPACTO DA MA		DETERM. NA UTILIZ. DA MA (EMPRESA DO ESTUDO)	CRITÉRIOS COMPETITIVOS				
			CUSTO	QUALIDADE	FLEXIBILIDADE	DESEMPENHO ENTREGA	INOVAÇÃO
	Redução no time-to-market	X					X
IMPACTO NEGATIVO	Custo dos equipamentos	X	X				
	Custos dos materiais		X				
	Produção de grandes séries com custos superiores às tecnologias convencionais		X				
	Custos com a propriedade intelectual		X				
	Custos com qualificação	X	X				
	Custos com certificação		X				
	Acabamento das Peças	X		X			
	Precisão			X			
	Propriedades mecânicas de resistência			X			

Fonte: Elaboração própria

Nota: no caso do determinante “Eficiência da Produção” considerou-se a relação com a redução de desperdícios, redução do consumo de energia, produção no local, redução/eliminação dos custos de transporte, redução/eliminação dos custos armazenamento e redução das interrupções nas operações.

A Tabela 4.2 (da matriz relacional) permite cruzar os principais resultados alcançados a longo desta investigação, designadamente os principais impactos associados à utilização da MA (resultados do estudo realizado no âmbito dos Subcapítulos 2.1 a 2.7), os principais determinantes para a sua adoção (resultante das empresas respondentes), estando em causa a perceção por parte das empresas do setor MM (Resultados do Subcapítulo 2.8, Capítulo 3 e Subcapítulo 4.2), e o papel que esta tecnologia assume ao nível da competitividade destas empresas (Resultados gerais dos Subcapítulos 2.9 e 2.10).

Por sua vez, do cruzamento destes resultados é possível retirar determinadas ilações tendo como objetivo dar resposta à questão de investigação que foi previamente formulada e que constitui a base de todo este estudo, a qual se prende com a análise do impacto da tecnologia MA na competitividade das empresas do setor MM.

Após análise do conteúdo desta matriz (Tabela 4.2) é possível retirar as seguintes conclusões:

- Nos casos em que as empresas se aproximam de uma produção caracterizada por uma grande variedade de produtos e reduzido volume de produção, a adoção da tecnologia MA revela-se uma opção viável e um contributo positivo para a sua estratégia competitiva;
- A atratividade desta tecnologia é significativamente reduzida quando estão em causa empresas cujo modelo de produção seja caracterizado por uma reduzida variedade de produtos e produção em massa ou em série. Para estes casos em concreto a utilização desta tecnologia significaria uma redução na velocidade de produção em comparação com a utilização das tecnologias tradicionais, o que levaria a um aumento dos custos associados, aumento do custo final do produto e atrasos na entrega dos mesmos ao consumidor final.
- Relativamente aos critérios competitivos é possível concluir que, quer ao nível dos impactos, quer ao nível dos determinantes para a sua adoção, os critérios Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Inovação são claramente favorecidos pela integração da MA nos sistemas produtivos. Pelo contrário, tendo em consideração o estado atual da tecnologia, o critério Qualidade surge associado a impactos negativos na competitividade e, conseqüentemente, na adoção desta tecnologia. Neste contexto, os avanços tecnológicos são cruciais e urgentes, no sentido de permitir aumentar a precisão, melhorar as propriedades mecânicas de resistência, melhorar os acabamentos, permitindo eliminar a necessidade de recorrer a operações complementares. Relativamente ao critério Custo, o mesmo apenas se revela um critério competitivo quando está em causa a produção de pequenos lotes, e grande diversidade de produtos. Pelo contrário, quando está em causa a produção em massa, a utilização desta tecnologia origina um aumento no tempo do ciclo de produção o que se revela uma limitação, prejudicando a competitividade da empresa. Contudo, mesmo neste cenário espera-se que com a evolução tecnológica a MA possa conferir tempos mais curtos e assim configurar uma estratégia competitiva também para estas empresas.

Por sua vez, quando analisados os principais fatores que têm instigado o desenvolvimento e a adoção desta tecnologia pela indústria, importa ainda destacar a **customização em massa** e o **desenvolvimento de novos e/ou melhorados produtos e processos**.

Relativamente à **customização em massa**, este fator é, não apenas, um impulsionador, como também, um resultado da tecnologia MA. Em resposta aos mercados cada vez mais fragmentados que valorizam a individualização, os fabricantes de todos os setores estão a adotar técnicas e tecnologias de manufatura inovadoras para produção em massa e customização de produtos. Na indústria automóvel, por exemplo, a MA permite que as empresas desenhem, projetem e personalizem carros de forma rápida e diferenciada. Atualmente estas empresas permitem que o cliente participe ativamente na construção do seu veículo, sendo disponibilizado um conjunto de opções que envolvem a produção de

determinadas componentes e acabamentos, recorrendo à MA. Por sua vez, também se tem registado uma forte aposta da indústria dos dispositivos médicos nesta tecnologia, tendo como objetivo a produção de implantes, próteses e dispositivos personalizados. Estes produtos acabam por apresentar custos inferiores para o paciente, além de serem produzidos “à medida”, permitindo uma adequação à fisionomia de cada paciente. A MA oferece inúmeras vantagens ao nível da customização em massa. A flexibilidade, celeridade e capacidade de conceber objetos diretamente justificam a sua utilização, configurando-se como uma alternativa às tecnologias convencionais. Contudo, as empresas estão apenas agora a adaptar os seus modelos de negócios rumo à customização em massa. Tendo em consideração a tendência observada, prevê-se que a correlação positiva que existe entre a MA e a Customização em Massa tenderá a aumentar significativamente.

No que concerne ao **desenvolvimento de novos e/ou melhorados produtos e processos**, tem-se registado uma evolução significativa associada aos avanços na tecnologia, a qual passou a abranger áreas de investigação aplicada como a nanotecnologia. Neste âmbito destaca-se a criação de novas estruturas, que apresentam vantagens relativamente às estruturas produzidas com recurso às tecnologias tradicionais, tais como: são mais complexas, têm maior liberdade geométrica e apresentam um desempenho superior quando se pretende que desempenhem múltiplas funções. Destaca-se também o desenvolvimento e evolução registada ao nível dos scanners tridimensionais e opções de software de processamento, permitindo aumentar as opções associadas ao design, projeto e produção de protótipos e peças. Ainda neste âmbito, importa destacar os avanços ao nível da Bioimpressão, que estão a impulsionar significativamente a procura por esta tecnologia, uma vez que permitem o desenvolvimento de implantes e dispositivos médicos personalizados.

Passando então à **resposta à questão de investigação**:

Partindo da Avaliação da Tecnologia MA, considerando que a competitividade de uma empresa pode ser determinada, influenciada ou uma consequência das decisões e opções ao nível tecnológico, e tendo em consideração a análise da relação entre Impactos, determinantes e os Critérios Competitivos, num contexto de aplicação da MA, é indubitável que a tecnologia de MA poderá constituir um diferencial competitivo, uma vez que revela um grande potencial no que concerne aos sistemas produtivos e critérios competitivos.

As principais limitações associadas à tecnologia (acabamento das peças; precisão; propriedades mecânicas de resistência) constituem barreiras temporárias, que se espera que sejam ultrapassadas brevemente dada a tendência registada nos últimos anos ao nível da evolução tecnológica. Por sua vez, após ultrapassadas as barreiras tecnológicas, as suas potencialidades serão amplamente reconhecidas e validadas, resultando na proliferação da sua adoção pela indústria.

Assim, para que a MA faça parte da realidade industrial enquanto diferencial competitivo, é crucial que as empresas avaliem, de forma sistémica, os benefícios que podem ser alcançados através da sua integração no processo produtivo, não deixando de identificar e ponderar as limitações associadas, as quais podem comprometer a competitividade da empresa. Para a tomada de decisão (investir ou não investir nesta tecnologia) as empresas deverão analisar a sua viabilidade começando por ponderar e avaliar o impacto que a introdução desta tecnologia terá ao nível dos seus produtos, processos e serviços, passando ainda pela análise da possibilidade/necessidade de alterar/adequar o modelo de negócio (novos produtos, novos processos, novos serviços).

Em suma, num contexto marcado por mudanças significativas ao nível tecnológico e ao nível das próprias organizações, para que as empresas mantenham ou aumentem a sua posição competitiva, e para que possam responder aos crescentes desafios, é crucial a sua rápida adaptação e preparação no sentido de aproveitarem e integrarem os benefícios associados a esta tecnologia.

## **CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES**

O presente capítulo é destinado às conclusões do trabalho e encontra-se estruturado em dois eixos principais. Na primeira seção realiza-se um sumário dos principais resultados obtidos, respostas às perguntas de investigação, atendendo-se às questões conceptuais, metodológicas e à questão empírica. Na segunda seção apresentam-se as principais limitações do trabalho e são identificadas oportunidades de investigações futuras.

### **5.1 Sumário dos resultados alcançados**

A presente investigação centra-se na relação entre a competitividade da comunidade industrial nacional, mais concretamente da indústria do setor MM, e a adoção de novas tecnologias, as quais surgem como o principal motor da sua atividade (Ribeiro, 2004). Num contexto de Avaliação da Tecnologia, a produtividade, a eficiência e a competitividade das empresas surgem como algumas das consequências diretas da introdução e utilização de novas tecnologias (Alic, 1987). Assim, qualquer tomada de decisão relativa à introdução de uma nova tecnologia exige uma prévia avaliação dos seus impactos, devendo, por este motivo, constituir-se como uma estratégia refletida, avaliada e validada, por forma a analisar previamente a sua viabilidade, o que implica definir os métodos e técnicas a aplicar (Boavida et al., 2013; Castorena et al., 2013; Rattner, 1979; Tran & Daim, 2008).

A tecnologia MA surge, neste contexto, como uma tecnologia que, apesar de não representar uma novidade, tem merecido especial destaque desde o final dos anos 80, tendo alcançado grande notoriedade nos últimos anos, estando associada à crescente transformação da indústria no seu caminho rumo ao digital (Fernandes & Araújo, 2019).

Embora seja consensual que esta tecnologia ainda não atingiu todo o seu potencial, a sua rápida evolução é notória, bem como o sucesso associado, uma vez que o seu surgimento permitiu revolucionar quer os processos de produção, quer os próprios produtos e serviços associados. A medicina, arquitetura, transportes, educação, engenharia, arqueologia e aeronáutica, são apenas algumas das áreas que têm claramente beneficiado da inovação neste campo tecnológico. A sua principal vantagem estará sempre associada à capacidade de produzir bens com geometrias complexas, bem como à produção de protótipos, pequenas séries ou até peças únicas, que exigem uma grande flexibilidade estrutural. Ao contrário do processo subtrativo, as tecnologias MA são “limpas”, pois recorrem a tecnologias aditivas, cuja filosofia está centrada na deposição camada a camada de matéria-prima, não produzido, por este motivo, subprodutos ou resíduos, o que aliado à redução dos ciclos produtivos leva a poupanças energéticas.

Esta investigação surge, neste contexto, como uma ferramenta adicional para a avaliação, partilha e disseminação desta tecnologia, destacando oportunidades e desafios, não desconsiderando as suas limitações. Este estudo permitiu, sobretudo, acrescentar conhecimento por via da recolha de dados e da análise empírica dos mesmos, no sentido de retirar um conjunto de ilações que permitam responder à questão de investigação que foi previamente definida e que está relacionada com o impacto da adoção da tecnologia MA na competitividade das empresas do setor MM.

A partir da revisão de literatura foi possível compreender a crescente evolução que esta tecnologia tem registado nos últimos anos, bem como analisar alguns testemunhos de grandes empresas internacionais que já procederam à sua introdução no processo produtivo, o que auxiliou na edificação do questionário e seleção da amostra, estando assim alinhado com o objetivo da presente investigação. Para a estratégia metodológica de análise dos dados, recolhidos por meio da aplicação do questionário, optou-se por combinar técnicas de análise de tipo quantitativo e de tipo qualitativo.

### 5.1.1 Principais resultados da análise quantitativa e qualitativa

No seguimento da análise quantitativa e qualitativa dos dados recolhidos com base nas respostas ao questionário, foram identificados os principais fatores que determinam a adoção da tecnologia, os quais foram sistematizados em duas vertentes:

1. **Conhecimento/Utilização da Tecnologia:** o conhecimento e experiência que advém da sua utilização constitui um fator determinante ao nível da validação e incentivo à utilização desta tecnologia por outras empresas (efeito de arrastamento), uma vez que permite identificar os principais benefícios e oportunidades (Peças com geometrias complexas e personalizáveis; Redução do *Time-to-Market*; Pequenos lotes; Flexibilidade da produção; Eficiência da Produção) bem como as limitações e dificuldades (Custo do Equipamento; Características físicas dos produtos; Necessidade de Formação específica) que decorrem da integração desta tecnologia no processo produtivo, ou mesmo da sua utilização recorrendo ao outsourcing;
2. **Estratégia Empresarial:** empresas que adotem uma cultura de inovação, que procurem o desenvolvimento e melhoria dos seus produtos, que estejam focadas no cliente e na oferta de produtos personalizáveis, com forte orientação para o mercado externo, são aquelas que demonstram maior aptidão na adoção/integração desta tecnologia, permitindo assim identificar estes fatores como determinantes na sua adoção/integração.

### **5.1.2 Matriz da relação entre os impactos, os determinantes da adoção desta tecnologia e os critérios de competitividade**

Após análise dos resultados do questionário e identificação dos principais fatores que determinam a adoção da tecnologia, procedeu-se ao estudo dos principais critérios competitivos e impactos da MA na indústria.

Seguiu-se o cruzamento de toda esta informação, através da construção de uma matriz de resultados, tendo como objetivo espelhar a relação entre os impactos e os determinantes da adoção desta tecnologia e os critérios de competitividade associados à atividade das empresas do setor. A análise desta matriz permitiu, não só, corroborar os resultados alcançados no Capítulo 3 (Procedimentos Metodológicos e Análise dos Dados) e Subcapítulo 4.1 (Análise Quantitativa), como também identificar os principais fatores associados, bem como, traçar um panorama geral dos fatores que potenciam esta relação.

A primeira conclusão retirada foi que a incorporação de tecnologias avançadas no processo produtivo, com destaque para a tecnologia MA, assume, cada vez mais, uma importância irrevogável quando se pretende alcançar vantagem competitiva no mercado. Contudo, a decisão associada à sua integração constitui um grande desafio para qualquer empresa, configurando um momento crucial para o sucesso da sua estratégia competitiva. Por sua vez, a formulação de uma estratégia competitiva deve passar pela antecipação de vários cenários, o que implica a identificação dos pontos fortes e fracos da empresa (limites internos à estratégia competitiva), bem como as oportunidades e ameaças (perfil relativamente à concorrência), permitindo aos decisores ter um prisma crítico sobre a empresa e sobre os riscos associados às suas decisões. Importa ainda referir que a definição da estratégia competitiva da empresa pode passar pela adaptação, adequação ou mesmo alteração do seu modelo e negócio.

As mudanças ao nível dos modelos de negócio irão alterar, não apenas, os processos de produção e comercialização, como também os processos de distribuição dos produtos. Os centros de distribuição podem, eventualmente, transformar-se em *hubs* de impressão, ocupando áreas menores e produzindo de acordo com a procura. Uma outra mudança associada ao processo de distribuição prende-se com o facto de ser possível comercializar apenas o desenho ou projeto do bem uma vez que o mesmo poderá ser posteriormente produzido próximo ou no local do consumidor final, eliminando, em parte ou até mesmo completamente, a necessidade do transporte do produto físico. Esses novos modelos de negócio dependem ainda de legislação para garantir a segurança da informação e propriedade intelectual destes projetos virtuais. Neste âmbito, tal como já analisado no Subcapítulo 2.7.3, tem-se registado nos últimos anos uma evolução significativa ao nível do desenvolvimento e publicação de normas, prevendo-se assim que a atividade normativa tenha repercussões positivas para as organizações no curto prazo.

Este estudo permitiu ainda identificar os aspetos que melhor caracterizam esta tecnologia e que são mais destacados quando comparados com as tecnologias convencionais, designadamente, a liberdade geométrica e a possibilidade de produzir produtos complexos, o que incentiva ao aumento da criatividade aquando do desenvolvimento de novos produtos, sendo ainda possível redesenhar produtos existentes, reestruturando a sua forma, reduzindo o peso final, permitindo agregar valor ao produto final, o que poderá ainda significar ganhos ao nível dos prazos de entrega dos bens e custos inferiores. Ainda relativamente aos produtos complexos, nos casos em que a impressão total do produto final não é viável devido à sua alta complexidade, é possível a produção de diferentes módulos, que podem ser combinados posteriormente numa linha de montagem final. Esse aspeto tem vindo a ser potenciado no seguimento da evolução tecnológica registada nos equipamentos de MA, alguns dos quais já permitem a combinação de diferentes materiais.

No seguimento da análise do conteúdo da matriz que consta no Subcapítulo 4.3 (Tabela 4.2) foi possível retirar as seguintes conclusões:

- a. Para as empresas que se dedicam à produção de uma grande variedade de produtos, e produção em pequenos lotes (minimizando o custo médio de produção), a adoção da tecnologia MA poderá constituir um contributo positivo para a sua estratégia competitiva;
- b. Nos casos em que o modelo de produção seja caracterizado por uma reduzida variedade de produtos e produção em massa ou em série, a atratividade desta tecnologia é significativamente reduzida. Para estes casos em concreto a utilização desta tecnologia significaria uma redução na velocidade de produção em comparação com a utilização das tecnologias tradicionais, o que levaria a um aumento dos custos associados, aumento do custo final do produto e atrasos na entrega dos mesmos ao consumidor final.
- c. No que concerne aos critérios competitivos é possível concluir que, quer ao nível dos impactos, quer ao nível dos determinantes para a sua adoção, os critérios Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Inovação são claramente favorecidos pela integração da MA nos sistemas produtivos. Pelo contrário, tendo em consideração o estado atual da tecnologia, o critério Qualidade surge associado a impactos negativos na competitividade e, conseqüentemente, na adoção desta tecnologia. Neste contexto, os avanços tecnológicos são cruciais e urgentes, no sentido de permitir aumentar a precisão, melhorar as propriedades mecânicas de resistência, melhorar os acabamentos, permitindo eliminar a necessidade de recorrer a operações complementares. Relativamente ao critério Custo, o mesmo apenas se revela um critério competitivo quando está em causa a produção de pequenos lotes, e grande diversidade de produtos. Pelo contrário, quando está em causa a produção em massa, a utilização desta tecnologia origina um aumento no tempo do ciclo

de produção o que se revela uma limitação, prejudicando a competitividade da empresa. Contudo, mesmo neste cenário espera-se que com a evolução tecnológica a MA possa conferir tempos mais curtos e assim configurar uma estratégia competitiva também para estas empresas.

A análise resultante de todo este processo revelou-se uma fonte de informação crucial para a tomada de decisão e definição de novas estratégias empresariais (quando estão em causa decisões associadas ao reforço tecnológico).

### 5.1.3 Principais desafios associados à adoção desta tecnologia

No que concerne aos principais **desafios** que se colocam ao desenvolvimento e adoção desta tecnologia (Boavida, 2017; Boavida et al., 2013; Delvenne & Roskamp, 2021; Jones, 1971; Maia, 2016; Rattner, 1979; Ribeiro, 2004; Roßmann et al., 2021; Schneider et al., 2021; Schot et al., 1992), tendo em consideração a análise efetuada, destacaram-se o desenvolvimento de normas, a seleção e acesso aos materiais e a precisão dos equipamentos e processos.

O desenvolvimento e **publicação de normas** é fundamental para aumentar a difusão e adoção da tecnologia. A aplicação generalizada de normas permite a existência de orientações prévias para a criação de produtos de modo que os mesmos observem determinadas especificações e sejam compatíveis com produtos fornecidos por diferentes fornecedores que procuram a mesma qualidade e desempenho. A normalização na MA permite ainda aumentar a segurança, a confiança e a qualidade dos processos e produtos. Como referido no ponto 2.7.3, atualmente encontram-se publicadas 19 normas, encontrando-se ainda em desenvolvimento 31 normas. A quase ausência de normativos leva as empresas a conduzir os seus próprios testes para garantir a integridade dos equipamentos, processos e produtos. Estes testes acabam por ser muito dispendiosos e demorados, limitando a difusão e aplicação desta tecnologia. Importa assim acelerar o desenvolvimento e publicação das normas, as quais deverão abranger todo o processo, desde o desenho da peça (propriedade intelectual), passando pela tecnologia e sua utilização, até à sua produção.

A normalização deverá ainda abranger materiais e processos, incluindo ainda as questões relacionadas com os processos metrológicos. Efetivamente a capacidade de medição associada a esta tecnologia é muito reduzida, constituindo uma limitação à sua utilização. Importa, assim, desenvolver mecanismos que permitam integrar no processo recursos de metrologia robustos, permitindo avaliar as propriedades dos materiais e peças finais. Os Comités técnicos da ISO e ASTM encontram-se, desde há vários anos, a desenvolver e publicar novas normas, tendo como objetivo permitir: que os fabricantes meçam e comparem o desempenho de diferentes processos e materiais; especificar requisitos de construção

parcial para dar aos compradores e fornecedores um conjunto comum de parâmetros com os quais trabalhar, melhorando assim o relacionamento com os fornecedores; ajudar novos utilizadores a adotar tecnologias MA; fornecer aos utilizadores uma uniformidade de procedimentos para calibrar máquinas de MA e testar o seu desempenho.

Um outro desafio associado á MA consiste na **seleção dos materiais mais adequados** e na identificação prévia das propriedades associadas aos materiais. Esta seleção é determinante quando, por exemplo, estamos perante a produção de uma peça para o setor aeronáutico, uma vez que são necessários materiais que possam suportar pressões e temperaturas extremas.

Apesar da evolução registada no desenvolvimento e caracterização de materiais, ainda subsistem vários problemas relacionados com a seleção dos mesmos, associados à qualidade e custo dos produtos. Por outro lado, apenas uma parte dos materiais que são utilizados nos processos de produção convencionais são compatíveis com a MA. A maioria dos processos de MA utiliza materiais patenteados que não estão bem caracterizados, os quais são frequentemente mais fracos do que aqueles que são utilizados na manufatura tradicional, e por este motivo a peça final pode não apresentar uma resistência uniforme. Por sua vez, as peças fabricadas aditivamente com metal apresentam propriedades físicas que podem ser bastante diferentes das dos metais forjados ou fundidos por via de processos convencionais, podendo, por exemplo, não apresentar a densidade total, o que pode comprometer a resistência e as propriedades ao nível da fadiga. Importa ainda referir que, quando comparados com os materiais na manufatura tradicional, os materiais aplicados na MA apresentam custos superiores. Face a este cenário, o custo dos materiais constitui uma limitação à adoção desta tecnologia.

Um outro desafio que se coloca ao desenvolvimento e adoção desta tecnologia prende-se com as **restrições ao nível dos equipamentos e processos**. Limitações como custo da máquina e capacidade do software provavelmente serão superadas no médio prazo. De facto, tem-se registado uma diminuição significativa nos preços das máquinas industriais e, por outro lado, a melhoria ao nível das capacidades do software e dos dispositivos de digitalização. Outras limitações, no entanto, são menos prováveis de serem superadas, como por exemplo, a estratificação e a cura da peça, que limita a velocidade do processo. Por outro lado, a questão da espessura mínima é uma restrição fundamental que dificilmente será resolvida sem um avanço tecnológico significativo.

De uma forma geral, as principais barreiras tecnológicas associadas a esta tecnologia são as seguintes: custos elevados dos equipamentos e materiais em comparação com os utilizados na manufatura convencional; Velocidade de produção do que é significativamente menos célere relativamente aos processos de produção em massa; Negociações inerentes entre o tamanho do produto, precisão e velocidade (por exemplo, superfícies maiores implicam tempos de produção mais longos; processos

de produção acelerados podem produzir peças com propriedades desconhecidas e imprevisíveis); Variações geométricas e de propriedades significativas entre produtos “idênticos” construídos em máquinas diferentes, levando à falta de repetibilidade (por exemplo, o uso dos mesmos materiais e arquivos CAD idênticos em cinco máquinas diferentes pode produzir cinco produtos com propriedades diferentes); Requisitos para operadores altamente qualificados e / ou ajuste periódico cuidadoso, ambos escassos e caros; Equipamento não confiável e qualidade de produto inconsistente, principalmente no que diz respeito à precisão das peças e acabamentos de superfície; Arquiteturas fechadas, que impedem os investigadores de fazer mudanças significativas nas condições de processamento; e ausência de hardware e software necessários para a deposição multimaterial simples e eficaz

Ainda neste âmbito, vários investigadores por todo o mundo estão focados em contribuir para a evolução desta tecnologia, por via: (i) da introdução de melhorias dos equipamentos de MA; (ii) da introdução de processos de metrologia no processo; (iii) da introdução de procedimentos de otimização e controlo de processos; (iv) da introdução de sistemas de sensores avançados; (v) da introdução de processos de caracterização de materiais; (vi) de procedimentos de análise dos dados; (vii) do desenvolvimento de normas; do desenvolvimento de materiais avançados; (viii) da implementação de controlos avançados; (ix) do desenvolvimento de sistemas de próxima geração para superar barreiras tecnológicas.

## 5.2 Conclusão Final

Incididas pelas oportunidades associadas à produção de uma grande variedade de bens com geometrias complexas e personalizáveis, à redução do *Time-to-Market*, à flexibilidade na produção, ao menor desperdício, à produção no local, à celeridade e proximidade da entrega, as empresas de vários setores, em especial as empresas do setor MM, estão, cada vez mais, a demonstrar o seu interesse na tecnologia MA, a qual se encontra associada ao surgimento de novos modelos de negócios.

O mercado da MA tem crescido continuamente desde 2011, decorrente da entrada de *players* industriais e fabricantes de sistemas relacionados. Mais recentemente, desde 2016, esta tecnologia registou um novo impulso, agora associado à possibilidade de se fabricar peças em metal, permitindo alcançar um novo setor.

A decisão associada à adoção desta tecnologia por parte destas empresas constitui um grande desafio, configurando um momento crucial para o sucesso da sua estratégia competitiva. Nesta fase e tendo como objetivo manter ou melhorar a sua posição competitiva no mercado, importa que as empresas antecipem os cenários possíveis, passando pela identificação dos pontos fortes e fracos da empresa (limites internos à estratégia competitiva), bem como as oportunidades e ameaças (perfil relativamente à concorrência). Ainda neste âmbito e de acordo com o estudo realizado, concluiu-se que as empresas que se dedicam à produção de uma grande variedade de produtos, e produção em pequenos lotes (minimizando o custo médio de produção), a adoção da tecnologia MA poderá constituir-se como um contributo positivo para a sua estratégia competitiva. Pelo contrário, nos casos em que o modelo de produção seja caracterizado por uma reduzida variedade de produtos e produção em massa ou em série, a atratividade desta tecnologia é significativamente reduzida. Contudo, mesmos para estes últimos, prevê-se que com a evolução da tecnologia, a mesma venha a assumir-se como um diferencial competitivo.

A tendência será então passar de uma estratégia de B2B (*Business to Business*) para B2C (*Business to Consumer*), ou seja, adaptar a estratégia competitiva da empresa, dirigindo o foco para o cliente, para as suas necessidades, exigências e expectativas, optando por um novo modelo de produção associado a produtos customizados, personalizados, aumentando a variedade de produtos produzidos, passando a produzir em pequenos lotes, permitindo ainda a redução no *time-to-market*.

Por sua vez, quando estão em causa alterações nos modelos de negócio, as mesmas poderão incitar ao aumento da agilidade das empresas, ampliação do seu raio de atuação e mercado, melhoria do desempenho de entrega, aumento da flexibilidade, além de reduzir custos, uma vez que a utilização desta tecnologia permite aumentar a eficiência da produção, reduzindo os desperdícios de materiais e o consumo de energia, e por outro lado, a opção pela produção customizada e por encomenda permite a redução/eliminação dos custos de transporte e redução/eliminação dos custos armazenamento.

Contudo, numa ótica de Avaliação da Tecnologia, este estudo permitiu, não apenas, identificar as oportunidades e potencialidades associadas a esta tecnologia, que constituem impactos positivos e determinantes na adoção da mesma, mas também as limitações e bloqueios, os quais constituem desafios concretos, que podem estar associados ao custo dos equipamentos, à velocidade em sistemas de produção em série, à normalização deste setor, à seleção e acesso aos materiais e à precisão dos equipamentos.

Neste contexto, foi possível constatar a importância de que, quer a academia quer as empresas, participem e colaborem no desenvolvimento desta tecnologia e na sua inovação, no sentido de superar as limitações, que muitas vezes correspondem a barreiras à sua adoção.

Este estudo permite, assim, corroborar a importância desta tecnologia num contexto industrial, mas também num contexto social. Apesar de já não constituir uma novidade, esta tecnologia carece de testemunhos associados a setores tradicionais, como é o caso do setor MM, o que configura uma das características inovadoras desta investigação. Por sua vez, o seu carácter inovador e diferenciador está ainda relacionado com o método utilizado, o resultado final alcançado e o contributo para o conhecimento do tema em análise, auxiliando na tomada de decisão: este estudo complementa a análise e mapeamento da evolução da tecnologia de MA com um estudo empírico, permitindo avaliar a tecnologia MA, ou seja, identificar o impacto da introdução desta tecnologia no processo produtivo das empresas do setor MM, identificando as repercussões ao nível da sua competitividade nacional e internacional.

Olhando para o futuro, a tecnologia MA conduzirá, sem dúvida, a uma mudança significativa em muitos segmentos da indústria, acrescentando valor ao produto e, em alguns casos, permitindo que as empresas criem novos produtos e/ou serviços, o que não seria possível através das tecnologias convencionais.

O crescimento contínuo e resultados otimistas permitem antever que esta tecnologia assumirá um lugar de destaque no futuro da indústria.

### **5.3 Limitações da Investigação e Aspetos a investigar no futuro**

Uma limitação deste trabalho está relacionada com as respostas ao questionário, mais concretamente com o número de empresas que referiu não estar familiarizadas com o conceito, e o número de empresas que referiu não estar interessadas na adoção e integração da tecnologia nos seus sistemas produtivos, o que limitou significativamente o estudo e avaliação da tecnologia MA, mais concretamente, dos impactos associados à sua utilização.

Neste contexto, reitera-se a importância da disseminação ampla de trabalhos e estudos nesta área, como é o caso desta tese, enquanto contributo para Avaliação de Tecnologia, no sentido elucidar estas empresas relativamente às potencialidades associadas a esta tecnologia.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma análise centrada nos novos modelos de negócios que decorrem da adoção desta tecnologia, analisando ainda, com maior detalhe, as questões relacionadas com a normalização, segurança da informação/dados, riscos associados ao manuseamento desta tecnologia por parte dos colaboradores e qualificação necessária.

Esta investigação permite, assim, identificar caminhos por explorar e que podem ser objeto de atenção científica futura.

## BIBLIOGRAFIA

- Aaker, D. A. (2001). *Strategic Market Management. 6th edition*. John Wiley & Sons, Incorporated,.
- Addario, G., Djudjaj, S., Farè, S., Boor, P., Moroni, L., & Mota, C. (2020). Microfluidic bioprinting towards a renal in vitro model. *Bioprinting*, 20, e00108. <https://doi.org/10.1016/J.BPRINT.2020.E00108>
- Agência Lusa. (2020). *Setor do metal com recorde de exportações de quase 20 mil milhões de euros em 2019*. OBSERVADOR. <https://observador.pt/2020/02/18/setor-do-metal-com-recorde-de-exportacoes-de-quase-20-mil-milhoes-de-euros-em-2019/>
- Alairys, T., Little, J., Baroudi, M., & Joshi, R. (2018). *The combinatorial effect of emerging technologies How can businesses harness multiple emerging technologies and prepare for the future?* Ernst & Young LLP.
- Alic, J. A. (1987). Evaluating industrial competitiveness at the office of technology assessment. *Technology in Society*, 9(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/0160-791X\(87\)90027-3](https://doi.org/10.1016/0160-791X(87)90027-3)
- Altomonte, C., Aquilante, T., & Ottaviano, G. I. P. (2012). *The Triggers of Competitiveness*. The EFIGE Cross-Country Report. The Bruegel Blueprint Series.
- Araújo, N. (2017). A manufatura aditiva: uma tecnologia disruptiva no processo de desenvolvimento e fabrico de produtos. *Revista Tecnometal*, n.º 230.
- Araújo, N., Pacheco, V., Costa, L., Jeng, J.-Y., & Kumar, A. (2021). *Smart Additive Manufacturing: The Path to the Digital Value Chain*. <https://doi.org/10.3390/technologies9040088>
- Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology : what it is and how it evolves. Free Press; Reprint Edition*, 224.
- ASTM International. (2010). *Additive Manufacturing Overview. The Global Leader in Additive Manufacturing Standards. Additive Manufacturing Standards Drive Innovation*. <https://www.astm.org/industry/additive-manufacturing-overview.html>
- Attaran, M. (2017). Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics. *Journal of Service Science and Management*, 10(03), 189–206. <https://doi.org/10.4236/JSSM.2017.103017>
- Banco de Portugal. (2019). *Nota de Informação Estatística - Análise setorial da indústria metalomecânica 2017*. <https://www.bportugal.pt/comunicado/nota-de-informacao-estatistica->

analise-setorial-da-industria-metalomecanica-2017

- Banta, D. (2022). What is technology assessment? *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 25, 7. <https://doi.org/10.1017/S0266462309090333>
- Barney, J. B. (2002). *Gaining and sustaining competitive advantage*. Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall.
- Barriera-Viruet, H., Sobeih, T. M., Daraiseh, N., Salem, S., Barriera-Viruet, H., Sobeihz, T. M., & Daraiseh, N. (2010). Theoretical Issues in Ergonomics Science Questionnaires vs observational and direct measurements: a systematic review Questionnaires vs observational and direct measurements: a systematic review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7:3, 261–284. <https://doi.org/10.1080/14639220500090661>
- Barros, N., & Fensterseifer, J. E. (2020). O conteúdo da estratégia de produção: as categorias de decisão da função produção e a construção de edificações. *Anais Do XXIV ENANPAD, ANPAD*.
- Batista, F., Matos, J., & Matos, M. (2017). Assessing the Competitiveness of the Portuguese Footwear Sector. *Gabinete de Estratégia e Estudos*.
- Beck, P., Hofmann, E., & Stölzle, W. (2012). One size does not fit all: An approach for differentiated supply chain management. *International Journal of Services Sciences*, 4, 213–239.
- Beeverycreative. (2018). *MELT Project*. MELT Project. <https://beeverycreative.com/proj-melt.php>
- Bellone, F., Musso, P., Nesta, L., & Schiavo, S. (2010). No Title. *The World Economy*, 33, 347–373.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2011.11.003>
- Bigliardi, B., Bottani, E., & Casella, G. (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis. *Procedia Manufacturing*, 42, 322–326. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.02.086>
- Bijker, W. E. (2010). Tacit and Explicit Knowledge by Harry Collins. In *Technology and Culture*.
- Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssolouris, G. (2015). Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2015 83:1, 83(1), 389–405. <https://doi.org/10.1007/S00170-015-7576-2>
- Boavida, N. (2017). *The role of indicators in decisions of technology innovation — Universidade NOVA de Lisboa*. KIT Scientific Publishing. <https://novaresearch.unl.pt/en/publications/the-role-of->

indicators-in-decisions-of-technology-innovation

- Boavida, N., Baumann, M., Moniz, A., Schippl, J., Reichenbach, M., & Weil, M. (2013). Technology transition towards electric mobility - technology assessment as a tool for policy design. *IET Working Papers Series*, 1–38. <https://run.unl.pt/handle/10362/14158>
- Boavida, N., & Moniz, A. B. (2015). *Technology assessment in Non-PTA countries: an overview of recent developments in Europe* (IET Working Papers Series;WPS07/2015). <http://hdl.handle.net/10362/17584>
- Böhle, K., & Moniz, A. (2015). No Countries for Old Technology Assessment? Sketching the Efforts and Opportunities to Establish Parliamentary TA in Spain and Portugal. *EconStor Open Access Articles*.
- Borangiu, T., Trentesaux, D., Thomas, A., Leitão, P., & Barata, J. (2019). Digital transformation of manufacturing through cloud services and resource virtualization. In *Computers in Industry* (Vol. 108, pp. 150–162). <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.006>
- Borges, L. (2018). *Impressão 3D: o que é e quais seus tipos e benefícios?* <http://inteligencia.rockcontent.com/impressao-3d/>
- Borgmann, A. (2006). Technology as a Cultural Force: For Alena and Griffin. *The Canadian Journal of Sociology*, 31(3), 351–360. <https://doi.org/10.1353/CJS.2006.0050>
- Bradburn, N. M., Sudman, S., & Wansink, B. (2004). *Asking Questions: The Definitive Guide to Questionnaire Design -- For Market Research, Political Polls, and Social and Health Questionnaires, 2nd, Revised Edition*. Jossey-Bass.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706QP0630A>
- Brem, A., Viardot, E., & Nylund, P. A. (2021). Implications of the coronavirus (COVID-19) outbreak for innovation: Which technologies will improve our lives? *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120451. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120451>
- Buckley, P. J., Pass, C. L., & Prescott, K. (1988). Measures of international competitiveness: A critical survey. *Journal of Marketing Management*, 4(2), 175–200. <https://doi.org/10.1080/0267257X.1988.9964068>
- Buhr, D., & Stehnen, T. (2018). *Industry 4.0 and European innovation policy big plans, small steps*. [https://books.google.com/books/about/Industry\\_4\\_0\\_and\\_European\\_Innovation\\_Pol.html?id=rZ4](https://books.google.com/books/about/Industry_4_0_and_European_Innovation_Pol.html?id=rZ4)

buAEACAAJ

- Caloff, J. (1994). The relationship between firm size and export behavior revisited. *Journal of International Business Studies*, 25, 367–387.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), 255–258. <https://doi.org/10.1108/13552541211231563/FULL/XML>
- Campos, A. (2018). A sólida reputação internacional do setor metalúrgico e metalomecânico português. *Portugalglobal Nº114, AICEP*, 22–26.
- Castorena, D. G., Rivera, G. R., & González, A. V. (2013). Technological foresight model for the identification of business opportunities (TEFMIBO). *Foresight*, 15(6), 492–516. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2012-0076>
- Celo, O., Braakmann, D., & Benetka, G. (2008). Quantitative and qualitative research: Beyond the debate. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 42(3), 266–290. <https://doi.org/10.1007/S12124-008-9078-3/FIGURES/1>
- Chao-Hung, W., & Li-Chang, H. (2010). The Influence of Dynamic Capability on Performance in the High Technology Industry: The Moderating Roles of Governance and Competitive Posture. *African Journal of Business Management*, 4(5), 562–577.
- Chen, Y. (2017). Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Undefined*, 3(5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
- Clarke, V. (2017). *Thematic analysis: What is it, when is it useful, & what does “best practice” look like?* <https://www.youtube.com/watch?v=4voVhTiVycd>
- Coates, J. F. (1974). Some methods and techniques for comprehensive impact assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 6(C), 341–357. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(74\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(74)90035-3)
- Coates, V. T., & Coates, J. F. (1974). Technology assessment and education. *Futurism in Education : Methodologies*.
- Coelho, A. (2018a). *Bioimpressão 3D: A Manufatura Aditiva na Medicina*. Bit2Geek. <https://bit2geek.com/2018/12/07/bioimpressao-3d-manufatura-aditiva-medicina-4450/>
- Coelho, A. (2018b). *Projeto MELT: Impressão em 3D na ISS, com tecnologia portuguesa*. Bit2Geek. <https://bit2geek.com/2018/08/28/projeto-melt-impressao-em-3d-na-iss-com-tecnologia->

portuguesa/

- Coelho, A. (2019a). *Espaço e manufatura aditiva: o futuro da impressão 3D*. Sapo. <https://24.sapo.pt/tecnologia/artigos/espaco-e-manufatura-aditiva-o-futuro-da-impressao-3d>
- Coelho, A. (2019b). *Impressora, Preciso de um Rim*. Bit2Geek. <https://bit2geek.com/2019/02/11/bioimpressao-3d-manufatura-aditiva-medicina-9958358683/>
- Cohen, D., Sargeant, M. and Somers, K. (2014). *3-D printing takes shape*. McKinsey Quarterly. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/3-d-printing-takes-shape>
- Cotteleer, B. Y. M., & Joyce, J. I. M. (2014). 3D Opportunity - Additive Manufacturing paths to performance, innovation and growth. *Deloitte Review*, 3–19.
- Creswell, J. (2010). *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 3ª ed. Artmed.
- Creswell, J. (2013). *Plano Clark VL. Pesquisa de métodos mistos* 2ª ed. Penso.
- D'Aveni, R. (2015). *The 3-D Printing Revolution*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution>
- de Weck, O. L., & Reed, D. (2014). Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovation. *Production in the Innovation Economy*, 235–262. <https://doi.org/10.7551/MITPRESS/9780262019927.003.0009>
- Delvenne, P., & Roskamp, B. (2021). Cosmopolitan technology assessment? Lessons learned from attempts to address the deficit of technology assessment in Europe. *Journal of Responsible Innovation*, 8(3), 445–470. <https://doi.org/10.1080/23299460.2021.1988433>
- Dias, V. (2018). A formação e o mercado internacional. *Portugalglobal Nº 114, AICEP*, 11–13.
- Ding, S., & Bao, X. (2016). A 3D printing practice for preoperative rehearsal based on the additive and subtractive manufacturing. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 16(8). <https://doi.org/10.1142/S0219519416400315>
- Dionísio Rocha, A., Barata, D., Di Orio, G., Santos, T., & Barata, J. (2015). © IFIP International Federation for Information PRIME as a Generic Agent Based Framework to Support Pluggability and Reconfigurability Using Different Technologies. 101–110. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16766-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16766-4_11)
- Doorenbos, A. Z. (2014). Mixed Methods in Nursing Research : An Overview and Practical Examples. *Kango Kenkyu. The Japanese Journal of Nursing Research*, 47(3), 207.

/pmc/articles/PMC4287271/

Drees, J. (2017). *Logistics 4.0 – tailored solutions for the future – Motorindia*.  
<https://www.motorindiaonline.in/prerequisite-for-industry-4-0-is-logistics-4-0/>

Ely, A., Van Zwanenberg, P., & Stirling, A. (2014). Broadening out and opening up technology assessment: Approaches to enhance international development, co-ordination and democratisation. *Research Policy*, 43(3), 505–518.  
<https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2013.09.004>

Ernst & Young. (2016). *Ey Global 3d Printing Report 2016 Full Report | PDF | 3 D Printing | Food And Drug Administration*. <https://pt.scribd.com/document/374923996/Ey-Global-3d-Printing-Report-2016-Full-Report>

ESA - Ten ways 3D printing could change space. (2014). ESA.  
[https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Engineering\\_Technology/Ten\\_ways\\_3D\\_printing\\_could\\_change\\_space](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Ten_ways_3D_printing_could_change_space)

European Commission. (2010). *Industry for Europe - Europe for industry* (Issue October, pp. 1–2).  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_10\\_1434](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_10_1434)

European Commission. (2017). *Industry in Europe - Facts & figures on competitiveness & innovation 2017*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/536033>

European Commission. (2019). An EU industry fit for the future - Towards a more united, stronger and more democratic Union. In *Publications Office*. <https://data.europa.eu/doi/10.2775/033958>

European Commission. (2020a). *Advanced technologies*.  
[https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/advanced-technologies\\_en](https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/advanced-technologies_en)

European Commission. (2020b). *Key Enabling Technologies (KETs) – A European Priority for Industrial Modernisation | Interreg Europe*. <https://www.interregeurope.eu/policylearning/news/11891/key-enabling-technologies-kets-a-european-priority-for-industrial-modernisation/>

European Commission. (2020c). *Why the EU supports advanced manufacturing*. Advanced Manufacturing. [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/advanced-manufacturing\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/advanced-manufacturing_en)

*F1 in schools Global - Home*. (n.d.). Retrieved July 23, 2020, from <https://www.f1inschools.com/>

Fabling, R., & Sanderson, L. (2013). Exporting and firm performance: Market entry, investment and expansion. *Journal of International Economics*, 89(2), 422–431.

<https://doi.org/10.1016/J.JINTECO.2012.08.008>

Farish, M. (2015). *A new dimension*. Automotive Manufacturing Solutions. <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/casting/forging/a-new-dimension/34247.article>

Fawcett, J. (2015). Invisible nursing research: thoughts about mixed methods research and nursing practice. *Nursing Science Quarterly*, 28(2), 167–168. <https://doi.org/10.1177/0894318415571604>

Fernandes, C., & Araújo, N. (2019). Digital Transformation and Additive Manufacturing: The role of standardization. *Proceedings of the Workshop on Disruptive Information and Communication Technologies for Innovation and Digital Transformation*. <http://disruptive-workshop.ipb.pt>

Filament2Print. (2019). *Aplicações da impressão 3D para a medicina*. [https://filament2print.com/pt/blog/65\\_aplicacoes-impressao-3d-medicina.html](https://filament2print.com/pt/blog/65_aplicacoes-impressao-3d-medicina.html)

Fine, C. H., & Hax, A. C. (1985). Manufacturing Strategy: A Methodology and an Illustration. *Interfaces*, 15, 6.

Foray, D., & Griibler, A. (1996). TECHNOLOGY AND THE ENVIRONMENT: AN OVERVIEW. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(1), 3–4.

Ford, S. L. N. (2014). *Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness*. *Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness 2* | <http://www.merriam-webster.com/dictionary/>

Foster+Partners. (2013). *Working with European Space Agency | Foster + Partners*. <https://www.fosterandpartners.com/news/archive/2013/01/foster-partners-works-with-european-space-agency-to-3d-print-structures-on-the-moon/>

Freeman, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(1), 27–39. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(96\)00060-1](https://doi.org/10.1016/0040-1625(96)00060-1)

Gagné, R. M. (Robert M. (1987). *Instructional technology : foundations*. 473.

Gardiner, G. (2015, May). *3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand? With and without fiber reinforcement, additive manufacturing is making an impact, but to what end?* [https://www.researchgate.net/publication/297764186\\_3D\\_Printing\\_Niche\\_or\\_next\\_step\\_to\\_manufacturing\\_on\\_demand\\_With\\_and\\_without\\_fiber\\_reinforcement\\_additive\\_manufacturing\\_is\\_making\\_an\\_impact\\_but\\_to\\_what\\_end](https://www.researchgate.net/publication/297764186_3D_Printing_Niche_or_next_step_to_manufacturing_on_demand_With_and_without_fiber_reinforcement_additive_manufacturing_is_making_an_impact_but_to_what_end)

Garvin, D. A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*, 101–

109.

GE Additive. (2021). *3D Printing in Aerospace & Aviation*. <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/industries/aviation-aerospace>

Gebhardt, A. (2003). Rapid Prototyping. In *Rapid Prototyping*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446402690.FM>

Gherzi, V., Rosso, A., Moukhtar, S., Léger, K., Sciare, J., Bressi, M., Nicolas, J., Feron, A., & Bonnaire, N. (2012). Sources of fine aerosols (PM<sub>2.5</sub>) in the region of Paris | Origine des particules fines (PM<sub>2.5</sub>) en Ile-de-France. *Pollution Atmospherique, SPEC. ISS*.

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Second Edition*, 1–498. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>

Girma, S., Greenaway, D., & Kneller, R. (2004). Does Exporting Increase Productivity? A Microeconomic Analysis of Matched Firms. *Review of International Economics*, 12(5), 855-866.

Gndak, M. de O., Gondak, R. de O., & Zluhan, G. (2005). Otimização do desenvolvimento de produto através da Prototipagem Rápida na obtenção de ferramental e protótipos em curto espaço de tempo. *5º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*.

González, D. S., & Álvarez, A. G. (2018). *Additive Manufacturing Feasibility Study & Technology Demonstration. EDA AM State of the Art & Strategic Report*. European Defense Agency.

Gouveia, A. F., & Correia, A. L. (2016). *What Determines Firm-level Export Capacity? Evidence from Portuguese firms*. Gabinete de Estratégia e Estudos.

Grimm, T. (2005). *Choosing the Right RP System. A study of seven RP systems*.

Hämäläinen, M., & Ojala, A. (2015). Additive manufacturing technology: Identifying Value Potential in Additive Manufacturing Stakeholder Groups and Business Networks. *Undefined*.

Harris, I. D. (2012). Additive manufacturing: a transformational advanced manufacturing technology: additive manufacturing represents a new paradigm and offers a range of opportunities for design, functionality, and cost. *Advanced Materials & Processes*, 170(5), 25–30. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=08827958&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA289360539&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>

Harris, R. (2011). Injection Molding Applications. *Stereolithography*, 243–255.

[https://doi.org/10.1007/978-0-387-92904-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92904-0_10)

- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hickey, S. (2014). *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology | 3D printing | The Guardian*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>
- Hill, C. W. L., & Jones, G. R. (1998). *Strategic Management Theory: an integrated approach*. Houghton Mifflin Company.
- Hill, T. J. (1997). Manufacturing strategy: keeping it relevant by addressing the needs of the market. *Integrated Manufacturing Systems*, 8/5, 257–264.
- Hilletoth, P. (2009). How to develop a differentiated supply chain strategy. *Industrial Management & Data Systems*, 109, 16–33.
- Hinings, C., & Greenwood, R. (1989). *The dynamics of strategic change*. New York: Blackwell, 1989. *European Journal of Operational Research*.
- Hitt, M. A., Ireland, R. D., & Hoskisson, R. E. (2000). *Strategic Management: Competitiveness And Globalization*. Thomson Learning.
- Hofmann, E., & Knébel, S. (2013). Alignment of manufacturing strategies to customer requirements using analytical hierarchy process. *Production & Manufacturing Research*.
- Hunt, S. D. (1997). Resource-advantage theory: an evolutionary theory of competitive firm behavior? *Journal of Economic Issues*.
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2020). *Estatísticas da Produção Industrial - 2019*. <https://www.ine.pt/xurl/pub/467890702%3E>. ISSN 0872-9298. ISBN 978-989-25-0548-0
- Ingberman, A., & Assavaniwej, S. (2018). 3D Printing's Impact on the Metalworking Industry. *Undefined*.
- International, A. (2012). *Standard terminology for additive manufacturing technologies: designation F2792-12a*. ASTM International.
- ISO Standards. (2011). *ISO/TC 261 Additive manufacturing*. Technical Committees. <https://www.iso.org/committee/629086.html>
- ISO Standards. (2020). *Business Plan. ISO/TC 261 - Additive manufacturing*.

[https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO\\_TC\\_261\\_\\_Additive\\_manufacturing\\_.pdf?nodeid=14655650&vernum=-2](https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_261__Additive_manufacturing_.pdf?nodeid=14655650&vernum=-2)

ISO Standards. (2021). *STANDARDS BY ISO/TC 261 Additive manufacturing*. <https://www.iso.org/committee/629086/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0>

Ituarte, I. F., Huotilainen, E., Mohite, A., Chekurov, S., Salmi, M., Helle, J., Wang, M., Kukko, K., Björkstrand, R., Tuomi, J., & Partanen, J. (2016). 3D printing and applications: academic research through case studies in Finland. *12th Biennial NordDesign Conference on Highlighting the Nordic Approach*.

[https://www.researchgate.net/publication/306380061\\_3D\\_printing\\_and\\_applications\\_academic\\_research\\_through\\_case\\_studies\\_in\\_Finland](https://www.researchgate.net/publication/306380061_3D_printing_and_applications_academic_research_through_case_studies_in_Finland)

Johnson, D. G., & Wetmore, J. M. (2021). *Technology and Society, second edition: Building Our Sociotechnical Future* (MIT Press (Ed.)).

Jones, M. V. (1971). *A technology assessment methodology: some basic propositions - Martin V. Jones - Google Books*. National Technical Information Service, 1971. [https://books.google.pt/books/about/A\\_technology\\_assessment\\_methodology.html?id=dhfkxAEA CAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.pt/books/about/A_technology_assessment_methodology.html?id=dhfkxAEA CAAJ&redir_esc=y)

Joseph Pine, B. (1993). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press.

Joung, J., & Kim, K. (2017). Monitoring emerging technologies for technology planning using technical keyword based analysis from patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 281–292. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2016.08.020>

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 April 2013 Securing the future of German manufacturing industry Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.

Kettles, A. M., Creswell, J. W., & Zhang, W. (2011). Mixed methods research in mental health nursing. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 18(6), 535–542. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2850.2011.01701.X>

*Key Additive Manufacturing Industry*. (2019). Addit 3D Printing. <https://www.addit3dprinting.com/key-additive-manufacturing-industry/>

Kieviet, A., & Alexander, S. M. (2015). *Is Your Supply Chain Ready for Additive Manufacturing? - Supply Chain Management Review*. Supply Chain Management Review.

[https://www.scmr.com/article/is\\_your\\_supply\\_chain\\_ready\\_for\\_additive\\_manufacturing](https://www.scmr.com/article/is_your_supply_chain_ready_for_additive_manufacturing)

Kline, S. J. (1985). What Is Technology?: *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/027046768500500301*, 5(3), 215–218. <https://doi.org/10.1177/027046768500500301>

Krings, B.-J., & Weinberger, N. (2018). Assistant without Master? Some Conceptual Implications of Assistive Robotics in Health Care. *MDPI - Technologies*, 6(1):13. <https://doi.org/10.3390/technologies6010013>

Krugman, P. (1990). *The Age of Diminished Expectations, Third Edition*. MIT Press.

Krugman, P. (1994). Competitiveness: A Dangerous Obsession. *Foreign Affairs*, 73(2), 28. <https://doi.org/10.2307/20045917>

Kumar, V., Kumar, U., & Persaud, A. (1999). Building technological capability through importing technology: The case of Indonesian manufacturing industry. *Journal of Technology Transfer*, 24(1), 81–96. <https://doi.org/10.1023/A:1007728921126>

Lasers, S. (2019). *Practical Applications and uses for Additive Manufacturing*. <https://www.spilasers.com/whitepapers/practical-applications-and-uses-for-additive-manufacturing/>

Le Bourhis, F., Kerbrat, O., Hascoet, J. Y., & Mognol, P. (2013). Sustainable manufacturing: Evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9–12), 1927–1939. <https://doi.org/10.1007/S00170-013-5151-2>

Lecklider, T. (2016, December 21). *3D printing drives automotive innovation*. Electronic Design. <https://www.electronicdesign.com/technologies/test-measurement/article/21207011/3d-printing-drives-automotive-innovation>

Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–8. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.02.001>

Lipson, H., & Kurman, M. (2013). Printing in layers. *Fabricated: The New World of 3D Printing*, 65–81. <https://www.wiley.com/en-us/Fabricated%3A+The+New+World+of+3D+Printing-p-9781118350638>

Long, Y., Pan, J., Zhang, Q., & Hao, Y. (2017). 3D printing technology and its impact on Chinese manufacturing. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00207543.2017.1280196*, 55(5), 1488–1497. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1280196>

- LWt Sistemas. (2016). *Manufaturas aditiva e subtrativa - Veja as principais diferenças*. <https://www.lwtsistemas.com.br/2016/05/23/manufaturas-aditiva-e-subtrativa/>
- MacKenzie, D. A., & Wajcman, J. (1985). *The Social shaping of technology : how the refrigerator got its hum*. Open University Press.
- Maia, M. (2016). Technology and the Creative Disruption of Health Care. *TATuP - Zeitschrift Für Technikfolgenabschätzung in Theorie Und Praxis*, 25(2), 79–84. [https://www.academia.edu/48165537/Technology\\_and\\_the\\_Creative\\_Disruption\\_of\\_Health\\_Care](https://www.academia.edu/48165537/Technology_and_the_Creative_Disruption_of_Health_Care)
- Maloney, J. D. (1982). How companies assess technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 22(3–4), 321–329. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(82\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0040-1625(82)90070-1)
- Mariasole, B., Piscitello, L., & Varum, C. (2014). The Impact of Public Support on SMEs' Outward FDI: Evidence from Italy. *Journal of Small Business Management*, 52(1), 22–38. <https://doi.org/10.1111/JSBM.12029>
- Marinho, J., & Carvalho, P. (2018). Assessing the Competitiveness of the Portuguese Metalworking Sector. *GEE Papers, Number 92*.
- Melanson, T. (2018). *What Industry 4.0 Means for Manufacturers | Robotics Tomorrow*. Industrial Robotics, Factory Automation | Aethon Inc. | Industry 4.0, Mobile Robotics. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2018/11/what-industry-40-means-for-manufacturers/12819>
- Mellor, S. (2014). *An Implementation Framework for Additive Manufacturing*. University of Exeter.
- Mellor, Stephen, Hao, L., & Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, 194–201. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2013.07.008>
- Meulen, R. van der, & Rivera, J. (2014). *Gartner Survey Reveals That High Acquisition and Start-Up Costs Are Delaying Investment in 3D Printers*. Gartner, Newsroom. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2014-12-09-gartner-survey-reveals-that-high-acquisition-and-start-up-costs-are-delaying-investment-in-3d-printers>
- Michelle, J. (2018). *Additive manufacturing in aerospace is growing*. 3D Natives. <https://www.3dnatives.com/en/additive-manufacturing-aerospace-growing-061220184/#!>
- Microsoft. (2020). *Getting started guide - Microsoft Standard Driver for 3D Printers - Windows drivers |*

- Microsoft Docs. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/3dprint/microsoft-standard-driver-for-3d-printers->
- Mishra, S. (2013). Helping additive manufacturing 'learn.' *Metal Powder Report*, 68(4), 38–39. [https://doi.org/10.1016/S0026-0657\(13\)70129-2](https://doi.org/10.1016/S0026-0657(13)70129-2)
- MIT's International Design Center. (2012). *Self-assembly Lab*. <https://selfassemblylab.mit.edu/>
- Modeen, T. (2005). CAD/CAMing: The use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture. *Automation in Construction*, 14(2), 215–224. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2004.07.005>
- Moniz, A. (2018a). Cenários sobre o futuro do trabalho: Avaliação das implicações tecnológicas — Universidade NOVA de Lisboa. In C. A. S. J. F. José Saragoça (Ed.), *Prospetiva Estratégica - Teoria, Métodos e Casos Reais* (pp. 173–197). Sílabo. <https://novaresearch.unl.pt/en/publications/cenários-sobre-o-futuro-do-trabalho-avaliação-das-implicações-tec>
- Moniz, A. (2018b). *Robótica e Trabalho: o futuro hoje (Robotics and Work: The future today)*. Glaciar Ed.
- Monteiro, L. L. (2019). *Cientistas imprimem primeiro coração 3D com tecido humano*. Lifestyle Ao Minuto. <https://www.noticiasao minuto.com/lifestyle/1239376/cientistas-imprimem-primeiro-coracao-3d-com-tecido-humano>
- Muir, M., & Haddud, A. (2018). Additive manufacturing in the mechanical engineering and medical industries spare parts supply chain. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(2), 372–397. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2017-0004>
- NASA. (2019). *NASA's Centennial Challenges: 3D-Printed Habitat Challenge | NASA*. [https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial\\_challenges/3DPHab/about.html](https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/about.html)
- Nelson, J. W., LaValle, J. J., Kautzman, B. D., Dworshak, J., Johnson, E. M., & Ulven, C. A. (2017). *Injection molding with an additive manufacturing tool study shows that 3D printed tools can create parts comparable to those made with P20 tools, at a much lower cost and lead time*. Plastics Engineering-Connecticut. [https://www.researchgate.net/publication/319458355\\_Injection\\_molding\\_with\\_an\\_additive\\_manufacturing\\_tool\\_study\\_shows\\_that\\_3D\\_printed\\_tools\\_can\\_create\\_parts\\_comparable\\_to\\_those\\_made\\_with\\_P20\\_tools\\_at\\_a\\_much\\_lower\\_cost\\_and\\_lead\\_time](https://www.researchgate.net/publication/319458355_Injection_molding_with_an_additive_manufacturing_tool_study_shows_that_3D_printed_tools_can_create_parts_comparable_to_those_made_with_P20_tools_at_a_much_lower_cost_and_lead_time)
- Neumann, J. von, & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton

University Press.

- Niaki, M. K., & Nonino, F. (2017). Impact of additive manufacturing on business competitiveness: A multiple case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 56–74. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2016-0001>
- OECD. (2015). *ENABLING THE NEXT PRODUCTION REVOLUTION: ISSUES PAPER*. [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/IND\(2015\)2&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/IND(2015)2&docLanguage=En)
- OECD. (2017). The Next Production Revolution: implications for governments and business. *The Next Production Revolution*. <https://doi.org/10.1787/9789264271036-EN>
- Palm, W. (1998). Rapid prototyping primer. *Penn State Learning Factory*. [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=o3dfilkAAAAJ&citation\\_for\\_view=o3dfilkAAAAJ:Tyk-4Ss8FVUC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=o3dfilkAAAAJ&citation_for_view=o3dfilkAAAAJ:Tyk-4Ss8FVUC)
- Peliz, M., Boavida, N., Moniz, A. B., & Kuznetsova, Y. (2021). *The role of social partners in the governance of Dual Vocational Education and Training System: The Portuguese case*. <https://doi.org/10.4000/sociologico.10317>
- Pereira, N. C., Araújo, N., & Costa, L. (2018). A counting multidimensional innovation index for SMEs. *Benchmarking: An International Journal*, 25(1), 2–23. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2016-0090>
- Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., & Colomb, A. W. (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook. *IEEE Access*, 8, 220121–220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D Printing Disrupts Manufacturing - How Economies of One Create New Rules of Competition. *Research Technology Management*, 56(6), 12–16. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.3153&rep=rep1&type=pdf>
- Pettigrew, A., & Whipp, R. (1993). *Managing change for competitive success*. Blackwell Publishers.
- Platts, K. W., & Gregory, M. . (1990). Manufacturing Audit in the Process of Strategy Formulation. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Porter, A. L., Ashton, W. B., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S. W., Ducatel, K., van der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstone, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Mogee, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R., & Thissen, W. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(3),

287–303. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2003.11.004>

Porter, M. (1985). *Competitive Advantage*. The Free Press.

Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. The Free Press.

Porter, M., Ketels, C., & Delgado, M. (2008). *The Microeconomic Foundations of Prosperity: Findings from the Business Competitiveness Index*. WEF, The Global Competitiveness Report 2007–2008.

Porter, Michael, & Rivkin, J. W. (2012). The Looming Challenge to U.S. Competitiveness. *Harvard Business Review*, 90 (3), 54–61.

Rattner, H. (1979). Avaliação de tecnologia (technology assessment): um instrumento auxiliar no processo decisório. *Revista de Administração de Empresas*, 19(4), 79–90. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901979000400007>

Rea, P., & Kerzner, H. (1997). Strategic Planning: A Practical Guide. *Industrial Engineering Series*. Van Nostrand Reinhold.

Renishaw. (2018). *Digging deep with Wassara*. <https://www.renishaw.com.br/pt/digging-deep-with-wassara--43252>

Renishaw. (2019). *Streamlining additive manufacturing for spinal implants*. <https://www.renishaw.com.br/pt/streamlining-additive-manufacturing-for-spinal-implants--44281>

Renishaw. (2020). *Metal additive manufactured parts for aircraft assembly*. <https://www.renishaw.com.br/pt/metal-additive-manufactured-parts-for-aircraft-assembly--44235>

Ribeiro, J. S. (2004). *A tecnologia como variável estratégica na indústria*.

Ribeiro Raulino, B., José Alvares, A., & Carlos Ferreira, J. (2013). *SISTEMA DE COTAÇÃO PARA PROTOTIPAGEM RÁPIDA-INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO NO CUSTO*.

Rooks, A. (2017). *The Future of the Metalworking Industry*. Sme. <https://www.sme.org/technologies/articles/2017/may/future-metalworking-industry/>

Roßmann, M., Schneider, C., Leshkovych, M., & Lösch, A. (2021). *Sociotechnical Visions of 3D Printing – from Visions to Sociotechnical Scenarios*. <https://doi.org/10.5445/IR/1000140561>

Sait, S. S., Muharam, F. M., Chin, T. A., & Sulaiman, Z. (2017). *Technology Assessment Need: Review on Attractiveness and Competitiveness*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/215/1/012017>

Salles, A. S., & Gyi, D. E. (2013). Delivering personalised insoles to the high street using additive

- manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(5), 386–400. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.717721>
- Sandler, R. L. (2014). Ethics and Emerging Technologies. In *Ethics and Emerging Technologies*. Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1057/9781137349088>
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students, 8th Edition*. Pearson Education.
- Scapolo, F., Churchill, P., Viaud, V., Antal, M., Smedt, P., & Castillo, H. L. C. G. (2015). *How will standards facilitate new production systems in the context of EU innovation and competitiveness in 2025?* (EUR 27096.). Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC93699>
- Schneider, C., Roßmann, M., Lösch, A., & Grunwald, A. (2021). Transformative Vision Assessment and 3-D Printing Futures: A New Approach of Technology Assessment to Address Grand Societal Challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3129834>.
- Schot, J. W., Laats, J., Cramer, F., Prakke, D., Jacobs, T., & Misa, A. R. (1992). Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies. In *Technology, & Human Values* (Vol. 17, Issue 1). Sage Publications, Inc.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab | World Economic Forum*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>
- Scott, B. R., & Lodge, G. C. (1985). *U.S. Competitiveness in the World Economy*. Harvard Business School Press.
- Sealy, W. (2012). ADDITIVE MANUFACTURING AS A DISRUPTIVE TECHNOLOGY: HOW TO AVOID THE PITFALL. *American Journal of Engineering and Technology Research*, 12(1).
- Shulman, H., Spradling, D., & Hoag, C. (2012). *Introduction to Additive Manufacturing*. Ceramic Industry. <http://www.ceramicindustry.com/articles/92951-introduction-to-additive-manufacturing/>
- Skinner, W. (1974). The Focused Factory. *Harvard Business Review*, 52, 113–121.
- Slack, N. (1993). *Vantagem competitiva em manufatura*. Atlas.
- Steenhuis, H. J., & Pretorius, L. (2016). Consumer additive manufacturing or 3D printing adoption: An exploratory study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), 990–1012.

<https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2016-0002>

Stratfor Geopolitical Diary. (2013). *Will Additive Manufacturing Replace Conventional Manufacturing? - Shapeways Blog*. 3D PRINTING INDUSTRY. <https://www.shapeways.com/blog/archives/41077-will-additive-manufacturing-replace-conventional-manufacturing.html>

Tran, T. A., & Daim, T. (2008). A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(9), 1396–1405. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2008.04.004>

Tuomi, J., Paloheimo, K. S., Vehviläinen, J., Björkstrand, R., Salmi, M., Huutilainen, E., Kontio, R., Rouse, S., Gibson, I., & Mäkitie, A. A. (2014). A novel classification and online platform for planning and documentation of medical applications of additive manufacturing. *Surgical Innovation*, 21(6), 553–559. <https://doi.org/10.1177/1553350614524838>

UC San Diego News. (2019). *3D Printed Implants Show Promise for Treating Spinal Cord Injury*. <https://ucsdnews.ucsd.edu/feature/3d-printed-implants-show-promise-for-treating-spinal-cord-injury>

Ultimaker. (2016). *Ultimaker Cura: Powerful, easy-to-use 3D printing software*. <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>

Valdés, P., Valdés, R., Guisasola, J., & Santos, T. (2002). Implicaciones de las relaciones ciencia-tecnología en la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 101–128. <https://doi.org/10.35362/RIE280961>

van Est, R., & Kool, L. (2015). Working on the robot society. Visions and insights from science about the relation technology and employment. *Rathenau Institute*. <https://www.rathenau.nl/nl/publicatie/working-robot-society>

Vanderburg, W. (2005). *Living in the Labyrinth of Technology*. University of Toronto Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.3138/9781442657298>

Vinodh, S., Sundararaj, G., Devadasan, S. R., Kuttalingam, D., & Rajanayagam, D. (2009). Agility through rapid prototyping technology in a manufacturing environment using a 3D printer. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(7), 1023–1041. <https://doi.org/10.1108/17410380910984267>

Weinberger, N., Krings, B.-J., & Decker, M. (2016). *Enabling a Mobile and Independent Way of Life for People with Dementia - Needsoriented Technology Development*. 183–204. <https://doi.org/10.14361/9783839429570-009>

- Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 171–180.
- Wheel Wright, S. C. (1984). Manufacturing strategy: defining the missing link. *Strategic Management Journal*, 5, 77–91.
- Williams, A. (2003). How to ... Write and Analyse a Questionnaire. *Journal of Orthodontics*, 30(3), 245–252. <https://doi.org/10.1093/ortho.30.3.245>
- Wise, G. (1985). Science and Technology. <https://doi.org/10.1086/368647>, 1, 229–246. <https://doi.org/10.1086/368647>
- Wohlers, T. (2008). *The Wohlers Report 2008*.
- Wohlers, T. T. (2012). *Wohlers report 2012: additive manufacturing and 3D printing state of the industry: annual worldwide progress report*. Wohlers Associates. <http://www.worldcat.org/title/wohlers-report-2012-additive-manufacturing-and-3d-printing-state-of-the-industry-annual-worldwide-progress-report/oclc/813219114>
- World Economic Forum and Institute for Management Development. (1995). *The World Competitiveness Report*. World Economic Forum and Institute for Management Development.
- Wray, P. (2014). Additive manufacturing-Turning manufacturing inside out. *3-D Printing: The New Normal*, 93(3). [www.ceramics.org](http://www.ceramics.org)
- Wright, P., Kroll, M., & Parnell, J. A. (1996). *Strategic Management: Concepts*. Prentice Hall College Div; 3rd edition.
- Zhai, Y., Lados, D. A., & Lagoy, J. L. (2014). Additive Manufacturing: Making imagination the major Limitation. *JOM*, 66(5), 808–816. <https://doi.org/10.1007/S11837-014-0886-2>

## ANEXO



# Questionário | Manufatura Aditiva

Este questionário enquadra-se num projeto de colaboração entre o CATIM, a FCT-UNL e o CICS.NOVA.

Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

O questionário dura apenas 10 minutos e as suas respostas serão tratadas de forma totalmente anónima.

Caso tenha alguma dúvida sobre o questionário, envie-nos um email: [nuno.araujo@catim.pt](mailto:nuno.araujo@catim.pt)

...

\* Obrigatório

1. Nome da Empresa \*

2. Nome de contacto \*

3. Endereço de E-mail \*

4. Já utilizou/utiliza a tecnologia de MA na sua empresa? \*

- Sim, integrado no nosso processo produtivo
- Sim, recorrendo ao outsourcing
- Não

5. Quantos equipamentos de MA utilizam? \*

- 1
- 2
- 3
- 4 ou mais

6. Recursos Humanos \*

	1-3	4-7	8-10	mais de 10
Quantos colaboradores estão afectos ao trabalho com esta tecnologia (MA)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quantos colaboradores espera que estejam a trabalhar nesta área nos próximos 5 anos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Está familiarizado com a tecnologia de Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D? \*

- Sim
  - Não
-



## Questionário | Manufatura Aditiva

Este questionário enquadra-se num projeto de colaboração entre o CATIM, a FCT-UNL e o CICS.NOVA.

Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

O questionário dura apenas 10 minutos e as suas respostas serão tratadas de forma totalmente anónima.

Caso tenha alguma dúvida sobre o questionário, envie-nos um email: [nuno.araujo@catim.pt](mailto:nuno.araujo@catim.pt)

...

\* Obrigatório

1. Nome da Empresa \*

2. Nome de contacto \*

3. Endereço de E-mail \*

4. Já utilizou/utiliza a tecnologia de MA na sua empresa? \*

- Sim, integrado no nosso processo produtivo
- Sim, recorrendo ao outsourcing
- Não

5. Utiliza/utilizou esta tecnologia para que finalidade? \*

- Prototipagem
- Produção direta
- Fabricação de ferramentas

6. Que tipos de materiais utiliza/utilizou? \*

- Polímeros
- Metálicos
- Cerâmicos
- Outro

7. Estaria interessado em utilizar esta tecnologia, incorporando-a no seu processo produtivo? \*

- Sim
- Não

8. Quais as razões que estão/estariam/estiveram na base da adoção da tecnologia de MA pela sua empresa? \*

*Selecionar até um máximo de 5 opções*

- Prototipagem
- Desenvolvimento de produtos
- Inovação
- Aumento da eficiência
- Redução de custos
- Desenvolvimento de produtos personalizados
- Melhorar ou expandir a linha de produtos
- Outro

9. Quais os principais benefícios/vantagens que associa à tecnologia de manufatura aditiva? \*

*Selecionar até um máximo de 5 opções*

- Capacidade de desenvolver peças com geometrias mais complexas e personalizáveis
- Produção de pequenos lotes de peças
- Flexibilidade da produção
- Maior eficiência da produção
- Redução do Time-to-Market
- Menor necessidade de controlo/intervenção humana no processo
- Outro

10. Quais as principais limitações/dificuldades que associa à implementação da tecnologia de manufatura aditiva? \*

*Selecionar até um máximo de 5 opções*

- Produção de pequenas séries
- Características físicas dos produtos
- Elevados custos de aquisição dos equipamento
- Elevados custos de produção para pequenos lotes de peças
- Necessidade de formação específica de designers e engenheiros para a MA
- Dificuldades no acesso a fontes de financiamento
- 

11. Na sua opinião que tipo de questões relacionadas com segurança associa a esta tecnologia \*

- Riscos mecânicos
- Riscos eléctricos
- Riscos térmicos
- Nanoparticulas
- Químicos
- Sem Riscos

12. Quantos colaboradores tem a sua empresa \*

- 1 a 5
- 6 a 9
-

- 10 a 19
- 20 a 49
- 50 a 99
- 100 a 249
- 250 a 499
- mais de 500

Submeter

Nunca revele a sua palavra-passe. [Denunciar abuso](#)

---

Estes conteúdos são criados pelo proprietário do formulário. Os dados que submeter serão enviados para o proprietário do formulário. A Microsoft não é responsável pelas práticas de privacidade ou segurança dos seus clientes, incluindo os do proprietário deste formulário. Nunca revele a sua palavra-passe.

Com tecnologia do Microsoft Forms |

O proprietário deste formulário não forneceu uma declaração de privacidade sobre a forma como irá utilizar os seus dados de resposta. Não forneça informações pessoais ou sensíveis.

| [Termos de utilização](#)



## Questionário | Manufatura Aditiva

Este questionário enquadra-se num projeto de colaboração entre o CATIM, a FCT-UNL e o CICS.NOVA.

Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

O questionário dura apenas 10 minutos e as suas respostas serão tratadas de forma totalmente anónima.

Caso tenha alguma dúvida sobre o questionário, envie-nos um email: [nuno.araujo@catim.pt](mailto:nuno.araujo@catim.pt)

...

\* Obrigatório

1. Nome da Empresa \*

2. Nome de contacto \*

3. Endereço de E-mail \*

4. Já utilizou/utiliza a tecnologia de MA na sua empresa? \*

- Sim, integrado no nosso processo produtivo
- Sim, recorrendo ao outsourcing
- Não

5. Está familiarizado com a tecnologia de Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D? \*

- Sim
- Não

Submeter

Nunca revele a sua palavra-passe. [Denunciar abuso](#)

---

Estes conteúdos são criados pelo proprietário do formulário. Os dados que submeter serão enviados para o proprietário do formulário. A Microsoft não é responsável pelas práticas de privacidade ou segurança dos seus clientes, incluindo os do proprietário deste formulário. Nunca revele a sua palavra-passe.

Com tecnologia do Microsoft Forms |

O proprietário deste formulário não forneceu uma declaração de privacidade sobre a forma como irá utilizar os seus dados de resposta. Não forneça informações pessoais ou sensíveis.

[Termos de utilização](#)