

## **AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO**

### **INDÚSTRIA E MANUFATURA**

Versão de julho de 2019

(em fase de edição)

## **AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO**

### **INDÚSTRIA E MANUFATURA**

As Agendas Temáticas de Investigação e Inovação dinamizadas pela FCT, entre as quais a presente Agenda Temática, foram desenvolvidas por Grupos de Peritos designados conjuntamente pela FCT e por centros e unidades de investigação, empresas e outras entidades com investigação e inovação relevante nas respetivas áreas, em número variável.

Os Grupos de Peritos identificaram equipas de coordenação e diferentes formas de contribuição para as Agendas, tendo sido apoiados ao longo do processo por equipas técnicas da FCT.

**PERITOS REDATORES**

**Américo Azevedo**, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

**Ana Reis**, INEGI

**António Paulo Moreira**, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

**Bernardo Almada Lobo**, INESC TEC

**Bruna Moura**, CENTI

**Bruno Ferreira**, Biotrend

**Carla Silva**, CENTI

**Carlos Henriques**, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

**Dulcinia Santos**, CENTIMFE

**Helena Gouveia**, Instituto da Soldadura e Qualidade

**João Gomes**, CENTI

**Luis Camarinha-Matos**, UNINOVA

**Luis Melo**, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa (Coordenador Investigação)

**Miguel Prazeres**, IBB

**Nuno Fidelis**, CENTIMFE

**Paula Vilarinho**, CICECO

**Paulo Soeiro Ferreira**, Visabeira Global

**Pedro Neto**, Universidade de Coimbra

**Rafael Antunes**, Hovione

**Rodrigo Martins**, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

**Rui Rodrigues**, Caetano Bus, S.A

**Sebastião Moutinho**, CUF/Innovnano

**Victor Ferreira**, Cluster Habitat Sustentável (Coordenador Inovação)

**Victor Sousa**, Universidade de Aveiro

**PERITOS COLABORADORES**

Adolf Steiger, José Barata, UNINOVA

Antonio Batista, INEGI

António Paulo Moreira, Faculdade de Engenharia do Porto, Univeridade do Porto

António Pontes, Insituto de Polímeros e Compósitos, Universidade do Minho

Dulcinia Santos, CENTIMFE

Fernando Sousa, CEI/Produtech

João Gomes, CENTI

João Pedro Conde, INESC MN

Joaquim Torres, Microprocessador

Jorge Pinto, José Costa, Caetano Bus, S.A.

José Carlos Caldeira, INESC TEC

José Morgado, CITEVE

Luis Soares, Health Portugal

Madalena Dias, LSRE-LCM, FEUP

Maria José Carvalho, CITEVE

Nuno Araújo, CATIM

Nuno Neves, ICVS/3B's

Paulo Freitas, INL

Pedro Rocha, Produtech

Rui Soares, CENTIMFE

Rui Tocha, Cluster Eng&Tooling

Telmo Santos, UNIDEMI - UNL

Tiago Rebelo, CEIIA

Victor Santos, Universidade de Aveiro

**Coordenação do Grupo de Peritos**

Investigação: Luís Melo (IST)

Inovação: Victor Ferreira (Cluster Habitat Sustentável)

**Equipa Técnica da FCT**

Marta Candeias (Coordenadora), Joelma Almeida, Luís Fortes, Luís Maia, Maria João Fernandes, Pedro Matos, Sofia Azevedo

**Colaboração do Gabinete de Estudos e Estratégia**

Isabel Reis (mapeamento de financiamentos, com a colaboração de Inês Fonseca)

Daniel Ferreira e Vanja Karadzic (consulta a organismos públicos)

## AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO INDÚSTRIA E MANUFATURA

### Prefácio

A Agenda de Investigação e Inovação (I&I) para a Indústria e Manufatura representa a visão conjunta de cadeia de valor e uma estratégia para Portugal se posicionar face aos desafios que a modernização industrial encerra.

Trata-se de uma Agenda de I&I Temática que tem como objetivo um processo de diálogo societal contínuo e sistemático, em crescente interação internacional e de modo a valorizar Portugal no Mundo.

Este processo segue uma abordagem *bottom-up* com coordenação global da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e, o primeiro resultado, é este documento que reúne os contributos dos peritos envolvidos e que são provenientes de instituições de I&D e de ensino superior, laboratórios de Estado, instituições de interface, centros tecnológicos, empresas e outros atores dos setores público e privado. Foi um processo que teve vários momentos de interação e discussão (figura 1) conduzindo à redação dos desafios e oportunidades para a Indústria e Manufatura de acordo com os principais objetivos, desenvolvimentos, questões chave e fatores críticos.

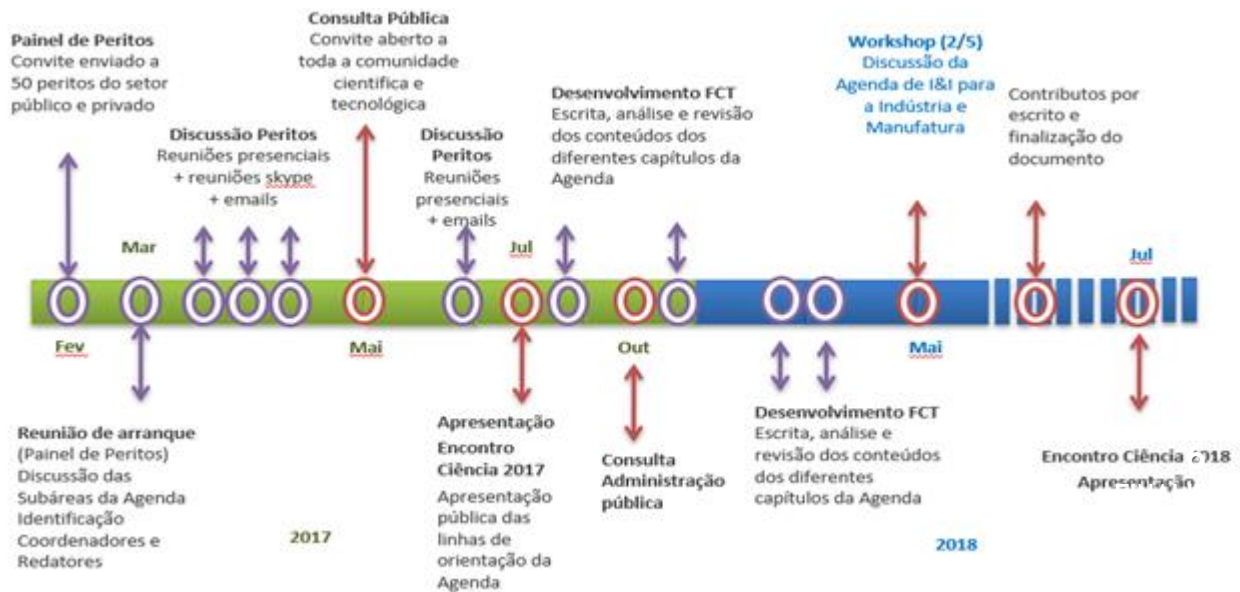


Figura 1- Processo de elaboração da agenda de I&I para a Indústria & Manufatura:

A temática desta agenda, como definido no Plano para a Ciência e Tecnologia, é a Indústria e manufatura, abrangendo a modernização e digitalização progressiva do tecido produtivo em termos de design e conceção, materiais, tecnologias e processos, produtos inteligentes e a dinamização de novas redes/infraestruturas, nomeadamente em tecnologias aditivas, de produção integrada, de micro e nanofabricação, bem como de gestão da produção e logística, incluindo os sectores aeronáutico e aeroespacial, automóvel, metalomecânica, química, biotecnologia, farmacologia, calçado e têxtil, entre outros;

Este documento reflete a visão harmonizada do grupo de peritos e o trabalho de edição dos redatores, coordenadores e da própria FCT. Adicionalmente foram considerados os contributos da sociedade civil, escritos e orais recolhidos, durante e após, o *workshop* de apresentação e discussão pública da Agenda realizado a 2 de maio de 2018, no Pavilhão do Conhecimento, em Lisboa. Pretende-se que este documento tenha um carácter dinâmico e, como tal, poderá e deverá sofrer alterações e atualizações sempre que a comunidade nacional identifique necessidades prementes de I&I nesta temática.

Existe uma agenda adicional no final da agenda referente já a tendências que foram identificadas, durante o workshop de discussão pública, e que devem ser exploradas em interações futuras.

## Sumário executivo

Esta Agenda de I&I - construída por processo inovador no contexto português, através de uma reflexão estratégica dos atores do sistema científico, tecnológico e de inovação nacional no tema, envolvendo instituições científicas e de ensino superior, empresas e institutos públicos responsáveis por políticas públicas, na perspetiva de médio e longo prazo – apresenta desafios e objetivos até 2030 bem como nomeadamente questões de investigação e oportunidades para inovação, oferecendo, em paralelo, elementos de caracterização e diagnóstico da I&I nesta área temática.

Portugal deverá necessariamente acompanhar a dinâmica europeia e tentar afirmar-se no grupo de países que lideram o processo de transformação da indústria e manufatura, investindo no aumento da **eficiência dos processos produtivos** e no **carácter inovador dos produtos produzidos**, assim como implementando medidas que visem um adequado desenvolvimento económico e social tirando partido, em particular, do atual **processo de transformação digital**.

Neste contexto deverá haver uma forte aposta nas temáticas específicas onde Portugal apresenta vantagens competitivas, através da dinamização no período 2020-2030 de linhas de I&I apoiadas por projetos estruturantes que levem à presença das empresas nacionais nos mercados tecnológicos internacionais.

### Materiais e Processos Industriais Avançados e Inteligentes

Portugal poderá destacar-se, nomeadamente, ao nível do desenvolvimento e adoção de materiais e processos industriais avançados e inteligentes onde a **integração das tecnologias emergentes**, complementada pelo **desenvolvimento de processos de desmaterialização e de engenharia inversa**, têm um papel importante na modernização e na competitividade industrial juntamente com o **desenvolvimento de interfaces e de ferramentas de visualização e simulação**. A aposta na **robótica avançada e na inteligência artificial** poderão constituir importantes fatores de mudança, mas deverá ser perspetivada tendo em conta a **valorização do fator humano** nas empresas do futuro. Por outro lado, o investimento em algumas áreas de nicho como é o caso da eletrónica no papel e eletrónica transparente (ex. indústria de equipamentos médicos, alimentar, *packaging* e segurança), bem como a engenharia de tecidos e interfaces eletrónicas ultrarrápidas, entre outras, poderá ser também uma excelente oportunidade para Portugal.

No desenvolvimento desta Agenda temática de I&I, que envolveu um debate interativo entre as comunidades científica e tecnológica nacionais, foram consideradas as necessidades das empresas em relação aos desafios associados ao desenvolvimento do setor da Indústria e Manufatura em Portugal. Estes desafios, que irão contribuir para tornar o país mais inovador nestas áreas envolvem, nomeadamente: a importância da liderança industrial europeia no mercado global, a necessidade de investimento em tecnologias facilitadoras, a integração de novos conceitos nos setores industriais (ex. Indústria 4.0, Economia Circular), a capacidade de resposta no desenvolvimento de novos produtos/processos avançados e a integração do conhecimento e desenvolvimento tecnológico na indústria.

Foram também identificados um conjunto de desafios para o futuro que deverão ser considerados de modo a garantir que Portugal possa aumentar o seu nível de inovação na área da Indústria e Manufatura, nomeadamente:

- Manter a **liderança na indústria europeia** no mercado global;
- Investir em **Tecnologias Facilitadoras** para criar vantagens competitivas;
- Integrar conceitos como os da **Indústria 4.0** e da **Economia Circular** nos setores industriais;
- Responder ao desenvolvimento de **novos produtos e processos** avançados;
- **Incorporar conhecimento** e desenvolvimento tecnológico na Indústria (ex., *manufatura aditiva, robótica e sistemas avançados, micro- e nano-fabricação, etc.*).

Estes desafios não podem ser considerados independentemente do contexto internacional no qual Portugal se insere, tendo por isso sido identificadas as seguintes realidades a nível internacional que poderão ter maior impacto na área da Indústria e Manufatura:

- Alterações climáticas, modificações demográficas e **competição pelos recursos naturais**;
- **Digitalização da indústria e novos modelos de negócio**;
- Desenvolvimento de **cadeias de valor sustentáveis**;
- Otimização do **desempenho e uso eficiente** de recursos;
- Impactos, **responsabilidade** sociais e questões éticas.

Considerando como principal objetivo o **aumento da competitividade** da indústria Portuguesa nos próximos anos, esta Agenda tem em conta a forte concorrência internacional entre regiões em termos de atração de investimento e da ambição de promover medidas de **desenvolvimento económico e social**, com reflexo no **aumento da produtividade e do emprego** através da **modernização industrial**.

### Refletindo sobre cinco dimensões temáticas críticas

Tendo por base os desafios identificados, considerou-se um conjunto de cinco dimensões temáticas de I&I reconhecidas como sendo estratégicas e fulcrais para a dinamização da produção industrial em Portugal, as quais deram origem às cinco componentes em que foi estruturada esta Agenda:

- **Materiais avançados**;
- **Processos tecnológicos industriais avançados**;
- **Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria**;
- **Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura**;
- **Redes colaborativas e produção industrial centrada no ser humano**.

Para cada uma destas cinco áreas foi identificado um conjunto de desafios, oportunidades, fatores críticos e tópicos de investigação e inovação cujas prioridades foram identificadas, entre as várias propostas apresentadas em cada dimensão, que se prevê que venham a ter impacto a médio prazo e contribuir para o dinamismo da economia nacional, os quais estão descritos em detalhe nos capítulos 4 (incidência dominante em temas, desafios e objetivos de Investigação) e 5 (foco principal em temas, desafios e oportunidades de Inovação Tecnológica).

As dimensões suprarreferidas refletem as áreas em que Portugal conseguirá apresentar vantagens competitivas em resultado do conhecimento produzido nos últimos 10 anos e a desenvolver na próxima década, as quais poderão ajudar a dar resposta a desafios societários de natureza genérica.

No respeitante a desafios e objetivos de investigação e de inovação, **os tópicos de investigação e inovação cujas prioridades foram identificadas para as cinco dimensões temáticas acima referidas são os seguintes**:

#### **Materiais avançados:**

##### Investigação

- Funcionalização de superfícies;
- Multifuncionalidade e compatibilidade de materiais;
- Reutilização e reciclagem /eco materiais;
- Substituição de materiais escassos;
- Nanoeletrónica / sensores;
- Aplicações de manufatura aditiva (incluindo biomateriais e tecidos) e sistemas para fabrico aditivo;
- Processos multitecnologia (hibridação);

##### Inovação

- Processos de fabrico multiescala;
- Superfícies funcionais e inteligentes;
- Multifuncionalidade e compatibilidade de materiais;
- Novos compósitos funcionais de base polimérica, cerâmica, metálica ou outra.



### Processos tecnológicos industriais avançados:

#### Investigação

- Processos e tecnologias de ligação de materiais;
- Ferramentas de simulação multi-processos;
- Biomanufatura em contínuo;
- Gestão circular e integrada de recursos nos processos industriais;
- Recursos e processos para uma maior eficiência;
- Gestão eficiente de ativos;
- Soluções descentralizadas.

#### Inovação

- Ferramentas de modelação e simulação;
- Geração de resíduos;
- Simbiose industrial multissetorial;
- Resíduos e efluentes para geração de energia.

### Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria:

#### Investigação

- Integração horizontal e vertical da cadeia de valor e nas cadeias de abastecimento;
- Analítica industrial para a eficiência de recursos e processos:

#### Inovação

- Sistemas de tratamento de big data;
- Integração de sistemas de manutenção preditiva;
- Sistemas não intrusivos de manutenção;
- Sistemas que permitam evitar desperdícios de recursos e mitigar distúrbios que ocorram no sistema;
- Modelos logísticos avançados;
- Modelos de negócio com base na produção customizada. (servitização);
- Design como instrumento integrador.

### Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura:

#### Investigação

- Sistemas de manufatura programados/instruídos de forma natural;
- Robótica móvel autónoma;
- Manipulares com ferramentas flexíveis, fáceis de integrar e instruir, modulares e com sensores integrados;
- Interação robôs–humanos;
- Sistemas robóticos macios;
- Sistemas de sensores em rede com captação em tempo-real do estado de todos os elementos do sistema produtivo;
- Análise de big data;
- Sistemas com capacidade de antecipar comportamentos humanos;
- Integração e reconfiguração rápida dos elementos dos sistemas produtivos;
- Resiliência dos sistemas (auto-reconfiguração e auto-reparação);
- Redes seguras.

#### Inovação

- Robótica colaborativa;
- Robótica móvel inteligente;
- Sensorização/redes de sensores inteligentes em manufatura e big data;
- Sistemas adaptativos;
- Ambientes e ferramentas; virtuais/sistemas ciber-físicos;
- Sistemas inteligentes de manufatura;
- Programação rápida de manipuladores;
- Microfábricas;
- Segurança;
- Produtos inteligentes;
- Sistemas produto-serviço.

### **Redes colaborativas e a produção industrial centrada no ser humano:**

#### Investigação

- Modelos de negócio centrado no humano;
- Estruturas organizacionais e modelos de governação para redes colaborativas;
- Humanismo industrial;
- Integração de princípios de ética, promoção da valorização de humanos e abordagens colaborativas, numa ótica de segurança em sistemas complexos industriais.

#### Inovação

- Identificação de perfis de competências e suas lacunas no quadro de sistemas inteligentes de produção;
- Processos de qualificação e requalificação de recursos humanos (indústria 4.0);
- Modelos de desmaterialização de negócios e contratualização de trabalho;
- Modelos de orientação comportamental e de bem-estar e segurança dos recursos humanos;
- Sistemas de interface homem-máquina;
- Captação e integração de recursos humanos e modelos para a sua valorização nas fábricas do futuro;
- Novos modelos de negócio (integração de cadeias de valor, empresas de rede, produção adaptada e inteligente).

Esta Agenda pretende ser um instrumento dinamizador de cadeias de valor sustentáveis, complementando outras iniciativas nacionais nestas temáticas, tendo como objetivo preparar a indústria para os desafios com que se depara atualmente, desde a **transformação digital** ao **uso eficiente de recursos**. Nesse sentido, para além do desenvolvimento e modernização da indústria tradicional, esta Agenda pretende também criar espaço para novas indústrias, criativas e inovadoras, baseadas no conhecimento, que gerem valor e emprego tecnológico.

São apresentados vários caminhos e tendências que poderão ser exploradas pelos setores académico e empresarial, desejavelmente em crescente colaboração, com destaque para os desenvolvimentos que em 2030 possam criar inovação, tendo em vista contribuir para tornar Portugal num país mais competitivo e inserido fortemente em redes internacionais de conhecimento.

## Executive Summary

This R&I Agenda - built by an innovative process in the Portuguese context, through a strategic reflection involving actors of the scientific, technological and national innovation system in the theme, encompassing scientific and higher education institutions, companies and public institutes responsible for public policies, in medium and long term perspective - presents challenges and objectives by 2030 as well as research issues and opportunities for innovation, while providing elements of R & D characterization and diagnosis in the thematic area at stake.

The European Union has been focusing on measures to boost investment in industry and application of new and emerging knowledge and technologies on production processes and services to better position Europe vis-à-vis its international partners.

Portugal must join this European dynamic trying to assert itself within the group of leading countries of industry and manufacturing sectors transformation process, investing in **efficiency increase of production processes** and in the **innovative nature of the products produced**, as well as implementing measures aimed at achieving a good economic and social development, taking advantage of the current process of **digital transformation**. In this context, there should be a strong focus on the specific areas in which Portugal has a competitive advantage, through the dynamisation of Research and Innovation (R&I) policies in the period 2020-2030 supported by projects with structuring effects that can help national companies to have a better position within the international technological markets.

### Advanced and Smart Materials and Manufacturing Processes

Portugal may thrive on the development and adoption of advanced and smart materials and manufacturing processes where the **integration of emerging technologies**, complemented by the **development of dematerialization and reverse engineering processes**, plays an important role in the modernization and industrial competitiveness, together with the **development of interfaces and visualization and simulation tools**. The focus on **advanced robotics and artificial intelligence** may be important factors for change. However, the need of **enhancement of the human factor** in the companies of the future must be taken into consideration. On the other hand, investment in some niche areas like paper electronics and transparent electronics (e.g. medical devices, food industry, packaging and safety) as well as tissue engineering and electronic ultrafast interfaces, among others, can also be an excellent opportunity for Portugal.

In the development of this thematic R&I agenda, which encompassed an interactive discussion between the national scientific and technological communities, the companies' needs were considered in the scope of the challenges associated with the development of the Industry and Manufacturing area in Portugal. These challenges, which will help making the country more innovative in these areas, include: the importance of European industrial leadership in the global market, the need to invest in enabling technologies, the integration of new concepts in industrial sectors (e.g. Industry 4.0, Circular Economy), the responsiveness in the development of new advanced products/processes and the integration of knowledge and technological development in industry.

In order to guarantee that Portugal can improve its innovation performance in the area of Industry and Manufacturing, this Research and Innovation Agenda identified several challenges for the future, namely:

- Keep the **European industry leadership** in the global market;
- Invest in **enabling technologies** to create competitive advantages;
- Integrate concepts such as **Industry 4.0** and **Circular Economy** in the industrial sectors;
- React to the development of **new products and advanced processes**;
- **Incorporate knowledge** and technological development into the industry (*eg, additive manufacturing, robotics and advanced systems, micro- and nano-manufacturing, etc.*).

These challenges cannot be addressed without considering the international context in which Portugal operates. As such, the following international trends that can have the greatest impact in the area of Industry and Manufacturing have been identified:

- Climate change, demographic change and **competition for natural resources**;
- **Industry digitization and new business models**;
- Development of **sustainable value chains**;
- **Performance optimization and efficient use of resources**;
- Impacts, **social responsibility** and ethical issues.

Having as its main objective the **increase of the competitiveness** of Portuguese industry in the coming years, this R&I Agenda considers the strong international competition between regions vying to attract investment, aiming to **promote economic and social development** measures with a reflection on **increasing productivity and employment** through **industrial modernization and digital transformation**.

### Five critical thematic dimensions

Based on the identified challenges, a set of five thematic dimensions of R&I were recognized as strategic and key to the dynamisation of industrial manufacturing in Portugal establishing the five components in which this R&I Agenda is structured:

- **Advanced materials**;
- **Advanced industrial technological processes**;
- **Efficient resources and processes management**;
- **Robotics and intelligent manufacturing systems**;
- **Collaborative networks and human centred industrial production**.

For each of these five areas, this R&I Agenda identifies a set of challenges, opportunities, critical factors and investigation and innovation topics for the identified priority areas which are expected to have medium-term impact and to contribute to the dynamic of the national economy, which are described in detail in chapters 4 (focusing on the issues, challenges and **research objectives**) and 5 (focusing on the issues, challenges and opportunities for **technological innovation**). These challenges reflect the areas in which Portugal will be able to present competitive advantages because of the knowledge produced over the last 10 years, and to be developed in the next decade, and which can help to give an appropriate response to a set of societal challenges of generic nature.

Regarding research and innovation challenges and objectives, **the most important investigation and innovation topics identified for the defined five thematic dimensions are the following**:

#### Advanced materials:

##### Investigation

- Surface functionalization;
- Multifunctionality and material compatibility;
- Reuse and recycling / eco materials;
- Replacement of scarce materials;
- Nanoelectronics / sensors;
- Uses of additive manufacturing (including biomaterials and fabrics) and systems for additive manufacturing;
- Multitechnology processes (hybridization);
- Multiscale manufacturing processes;

##### Innovation

- Intelligent and functional surfaces;
- Multifunctionality and material compatibility;
- New functional composites of polymeric, ceramic, metallic or another basis.

### **Advanced industrial technological processes:**

#### Investigation

- Materials bonding processes and technologies;
- Multi-process simulation tools;
- Continuous biomanufacturing;
- Circular and integrated management of resources in industrial processes;
- Resources and processes for a greater efficiency;
- Efficient asset management;
- Decentralized solutions.

#### Innovation

- Modeling and simulation tools;
- Waste generation;
- Multisectoral industrial symbiosis;
- Waste and effluents for power generation.

### **Efficient resources and processes management:**

#### Investigation

- Horizontal and vertical integration of the value chain and in supply chains;
- Industrial analytics for resource and process efficiency.

#### Innovation

- Big data handling systems;
- Integration of predictive maintenance systems;
- Non-intrusive maintenance systems;
- Systems to avoid wasting resources and mitigate disturbances that occur in the system;
- Advanced logistic models;
- Business models based on customized production (servitization);
- Design as an integrating instrument.

### **Robotics and intelligent manufacturing systems:**

#### Investigation

- Naturally programmed/learned manufacturing systems;
- Autonomous mobile robotics;
- Flexible, easy-to-integrate and easy-to-handle modular handles with integrated sensors;
- Robot-human interaction;
- Soft robotic systems;
- Network sensor systems with real-time capture of the state of all elements of the production system;
- Big data analysis;
- Systems capable of anticipating human behaviors;
- Quick integration and reconfiguration of the elements of the production systems;
- Systems' resilience (self-reconfiguration and self-repair);
- Secure networks.

#### Innovation

- Collaborative robotics;
- Intelligent mobile robotics;
- Sensing/intelligent sensor networks in manufacturing and big data;
- Adaptive systems;
- Virtual environments and tools/cyber-physical systems;
- Intelligent manufacturing systems;
- Fast programming of handlers;
- Microfactories;
- Security;
- Smart products;
- Product-service systems.

### **Collaborative networks and human centred industrial production:**

#### Investigation

- Human centered business models;
- Organizational structures and governance models for collaborative networks;
- Industrial humanism;
- Integration of ethical principles, promotion of human valorization and collaborative approaches, in a safety perspective in complex industrial systems.

#### Innovation

- Identification of competency profiles and their gaps in the framework of intelligent production systems;
- Qualification and requalification processes of human resources (industry 4.0);
- Business dematerialization and work contracting models;
- Models of behavioral orientation and welfare and safety of human resources;
- Human-machine interface systems;
- Recruiting and integrating human resources and models for their valorisation in the factories of the future;
- New business models (value chain integration, network companies, tailored and intelligent production).

This R&I Agenda aims to be a driving force to **foster sustainable value chains**, complementing other national initiatives in these areas, aiming to prepare the national industry for the challenges it will face in the future, from **digital transformation** to the **use of resources in an efficient manner**. In this sense, in addition to the development, modernization and digital transformation of the traditional industry, this R&I Agenda also aims to support **new, creative and innovative industries** based on knowledge, and which generates value and technological employment.

This R&I Agenda **presents several paths and trends** that can be explored by the academia and business sector, hopefully in an increasingly collaborative fashion, with a special focus on those developments that could create innovation in 2030, to make Portugal a more competitive country as part of the international networks of knowledge.

## Índice

Prefácio .....	4
Sumário Executivo .....	5
Executive Summary .....	9
<b>1. Capítulo I – Visão e Desafios para 2030 .....</b>	<b>15</b>
1.1. Visão para a Indústria e Manufatura (I&M) em Portugal até 2030.....	15
1.2. A importância da Indústria e Manufatura para Portugal .....	16
1.3. Os grandes desafios para o desenvolvimento do sector da Indústria e Manufatura em Portugal .....	16
<b>2. Capítulo II – Investigação e Inovação na área da Indústria e Manufatura em Portugal e no Mundo</b>	<b>19</b>
2.1. Estado da Arte: os desenvolvimentos dos últimos 10 anos .....	19
2.2. Estratégias Internacionais de Investigação e Inovação para a Indústria e Manufatura .....	20
2.3. A Investigação e Inovação em Portugal na área da Indústria e Manufatura nos últimos 15 anos .....	23
2.4. Diagnóstico da área em Portugal .....	29
<b>3. Capítulo III – As Políticas Públicas e Investigação &amp; Inovação na área da Indústria e Manufatura.</b>	<b>32</b>
3.1. A Indústria e Manufatura e as Políticas Públicas nos últimos 10 anos: temas e impactos .....	32
3.2. Desafios para a agenda de investigação e inovação .....	34
<b>4. Capítulo IV – Indústria e Manufatura - Temas de Investigação .....</b>	<b>37</b>
4.1. Materiais Avançados .....	38
4.1.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	38
4.1.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos .....	39
4.1.3. As questões chave para uma agenda de investigação .....	39
4.1.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro .....	41
4.2. Processos Tecnológicos Industriais Avançados .....	42
4.2.1. Desafios e Objetivos para Portugal até 2030 .....	42
4.2.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos 10 anos.....	43
4.2.3. As questões-chave para uma Agenda de Investigação .....	45
4.2.4. Fatores Críticos para o Desenvolvimento.....	46
4.3. Gestão Eficiente dos Recursos e Processos.....	47
4.3.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	47
4.3.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos 10 anos.....	47
4.3.3. As questões-chave para uma agenda de investigação.....	47
4.3.4. Fatores Críticos para o Desenvolvimento Futuro.....	50
4.4. Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura .....	50
4.4.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	50
4.4.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos .....	51
4.4.3. As questões chave para uma agenda de investigação .....	52
4.4.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro .....	53

## FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA

4.5.	Redes colaborativas e produção centrada no ser-humano.....	54
4.5.1.	Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	55
4.5.2.	Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos.....	55
4.5.3.	As questões chave para uma agenda de investigação.....	56
4.5.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	58
5.	<b>Capítulo V – Perspetivas de Inovação Tecnológica.....</b>	<b>60</b>
5.1.	Materiais Avançados.....	60
5.1.1.	Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	60
5.1.2.	Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos.....	62
5.1.3.	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação.....	63
5.1.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	64
5.2.	Processos Tecnológicos Industriais Avançados.....	65
5.2.1.	Desafios e objetivos para Portugal até 2030.....	65
5.2.2.	Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos.....	66
5.2.3.	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação.....	67
5.2.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	68
5.3.	Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria.....	69
5.3.1.	Desafios e Objetivos para Portugal até 2030.....	69
5.3.2.	Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos.....	70
5.3.3.	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação.....	71
5.3.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	72
5.4.	Robótica Industrial e Sistemas Inteligentes de Manufatura.....	72
5.4.1.	Desafios e Objetivos para Portugal até 2030.....	72
5.4.2.	Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos.....	73
5.4.3.	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação.....	75
5.4.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	78
5.5.	Redes colaborativas e a produção industrial centrada no Ser Humano.....	79
5.5.1.	Desafios e Objetivos para Portugal até 2030.....	79
5.5.2.	Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos.....	80
5.5.3.	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação.....	81
5.5.4.	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro.....	82
6.	<b>Capítulo VI - Conclusões.....</b>	<b>83</b>
6.1.	Desafios: a agenda e a sociedade portuguesa.....	84
6.2.	As áreas estratégicas para a Investigação e a Inovação na Indústria e Manufatura até 2030.....	86
6.3.	A Indústria e Manufatura, a Inovação e o Desenvolvimento Económico.....	91



## 1. Capítulo I – Visão e Desafios para 2030

### 1.1. Visão para a Indústria e Manufatura (I&M) em Portugal até 2030

A União Europeia, por forma a afirmar a Europa como uma região de elevado potencial e reduzir o seu menor avanço em relação a outras regiões do mundo, tentando fazer um pleno aproveitamento do atual processo de transformação digital, tem vindo a apostar em medidas que pretendem potenciar não só o investimento na indústria como também a aplicação de novo conhecimento e das novas e emergentes tecnologias em processos de produção e serviços.

**Portugal**, dado o espaço regional onde está inserido, mas também pela sua relação com regiões que ultrapassam as fronteiras europeias, deve não só acompanhar esta dinâmica da União Europeia como **ambicionar ocupar um espaço no grupo de países que lideram o processo de transformação da indústria e manufatura**. Uma ambição que passará, necessariamente, pela implementação de medidas que visem o desenvolvimento económico e social, isto é, o aumento da produtividade e da atividade comercial, não ignorando o novo paradigma da economia digital, melhor qualificação através da aquisição de novas competências e produção de novo conhecimento, melhor emprego e distribuição de rendimentos, melhor qualidade de vida e sustentabilidade ambiental.

Para tal, Portugal terá que apostar na **modernização industrial** do país nas próximas décadas. Esta transformação será suportada pelo aumento da eficiência dos processos produtivos e carácter inovador dos produtos produzidos.

Assim, o foco deverá ser colocado numa maior utilização das **tecnologias de informação, gestão de recursos e processos de tomada de decisão** assentes em **dados, materiais e processos produtivos inovadores**, assim como **sistemas robóticos avançados**. Estas tecnologias, permitirão baixar custos de produção, aumentar a produtividade e desenvolver produtos inovadores de elevado valor acrescentado.

Além disso, deve também existir lugar para a integração de um **modelo de economia do conhecimento**, em que a articulação entre a indústria e a academia permita transferir conhecimento e recursos humanos para a Indústria & Manufatura (I&M), conduzindo a uma especialização inteligente, o que trará vantagens competitivas. O incremento dos indicadores de produção científica nacionais terá de se espelhar na produtividade industrial portuguesa e no impacto da investigação desenvolvida nos diversos sectores industriais.

Assim sendo, será relevante apostar nas áreas temáticas específicas onde Portugal apresenta vantagens, tentando dinamizar várias linhas de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico e Inovação através de projetos estruturantes e de interesse nacional no período 2020-2030, e que resultem numa liderança internacional a nível tecnológico que culmine numa clara presença nos mercados internacionais por parte das empresas nacionais que integrem as tecnologias desenvolvidas.

**Até 2030 Portugal tem de se afirmar como um país de vanguarda ao nível do desenvolvimento e adoção de materiais e processos tecnológicos avançados: valorização de matérias-primas e tecnologias endógenas, desenvolvimento de superfícies funcionais e inteligentes, na multifuncionalidade e compatibilidade dos materiais, novos materiais fibrosos e de estruturas compósitas, de modo a obter produtos de elevado valor acrescentado** (ex. indústria metalomecânica, moldes e farmacêutica).

Neste contexto, tem particular foco o **uso eficiente de recursos** através da **valorização de resíduos naturais ou industriais e o *ecodesign*** para garantir um contributo forte aos desígnios da **sustentabilidade e de uma economia circular**.

Em termos do desenvolvimento de **processos industriais avançados e inteligentes**, a **integração das tecnologias emergentes** complementada pelo **desenvolvimento de processos de desmaterialização e de engenharia inversa**, tem um papel importante na **modernização e competitividade industrial a par com o**

**desenvolvimento de interfaces e ferramentas de visualização e simulação** com o cliente final para exploração de oportunidades na **customização e personalização de produtos** (ex: indústria têxtil, moldes e calçado).

Neste âmbito dos processos de fabrico, a aposta na **robótica avançada** e na **inteligência artificial pode ser um fator de mudança relevante que tem de ser perspetivada com a modificação da produção industrial valorizadora do ser humano na empresa do futuro** (ex. indústria metalomecânica, do papel, da cortiça e automóvel).

De igual modo, a exploração de processos de desenvolvimento de produto assentes no **design gerativo computacional**, que partindo de um conjunto de parâmetros de entrada como constrangimentos físicos, materiais, tecnologias de fabrico ou custos, **explore um conjunto de permutações possíveis de uma solução, dará alternativas de projeto não previstas e fundamentais à inovação nos mais variados sectores.**

Apostas em áreas de **nicho** podem também ser uma oportunidade para Portugal como é o caso da **eletrónica no papel** e **eletrónica transparente** (ex. indústria de equipamentos médicos, alimentar, *packaging* e segurança), bem como a **engenharia de tecidos** e interfaces **eletrónicas ultrarrápidas.**

## 1.2. A importância da Indústria e Manufatura para Portugal

Um dos principais fatores de crescimento económico passa pelas exportações, para as quais a Indústria e Manufatura portuguesas tem um impacto significativo, nomeadamente se observarmos que os produtos das indústrias transformadoras representam cerca de 94% do valor total das exportações<sup>1</sup>, destacando-se, naturalmente, os setores **automóvel, têxtil, equipamentos elétricos, químico e derivados**, bem como o dos **produtos alimentares e da celulose**. No entanto, novas áreas e setores como a **aeronáutica**, a **biotecnologia** ou a **nano fabricação**, começam a adquirir uma atenção crescente em função do papel que desempenham no processo de transformação digital.

Para que Portugal se mantenha competitivo, dado que existe uma forte concorrência entre regiões globais em termos de indústria e de atração de investimento, tem de ter uma indústria inovadora e para isso é preciso acompanhar a transformação digital associada à modernização industrial.

Importa, por isso, criar as condições de base e de longo prazo para uma sustentabilidade e robustez necessárias e transversal a todos os setores, permitindo o crescimento da indústria portuguesa e o aumento da sua relevância em termos regionais e globais. Capitalizar especialmente o investimento feito ao nível de infraestruturas na área da nanotecnologia, a nível de produção de conhecimento na área de biotecnologia e materiais e a capacidade industrial instalada, que tem vindo a aumentar, no setor aeronáutico e aeroespacial.

Desta forma, a longo prazo, será possível potenciar a exportação, aumentando o emprego no tecido empresarial da Indústria e Manufatura que, como consequência, terá implicações **no aumento da produtividade do sector**, com **inegável impacto na economia nacional** e **maior destaque internacional de Portugal na área da Indústria & Manufatura.**

## 1.3. Os grandes desafios para o desenvolvimento do sector da Indústria e Manufatura em Portugal

Na adoção desta visão, e tendo como **objetivo o desenvolvimento e utilização de materiais avançados em diferentes sectores industriais**, capazes de assegurarem por um lado o crescimento sustentável da

<sup>1</sup> Segundo dados do INE relativos ao 3.º trimestre de 2017, o valor total das exportações foi de 13.255 milhões de Euros sendo que desses, 12.474 milhões de euros são referentes a “produtos das indústrias transformadoras”.

indústria tradicional e, por outro, desenvolver novas indústrias criativas e inovadoras baseadas no conhecimento, geradoras de valor e de emprego tecnológico, existem desafios, tecnológicos e sociais, a médio e longo prazo que é necessário ultrapassar.

A nível tecnológico os principais desafios estão relacionados com a adaptação da indústria transformadora tradicional e com a transformação digital que conduz à implementação de fábricas inteligentes.

A indústria transformadora tradicional terá de **adaptar as suas linhas produtivas a novos materiais e desenvolver e comercializar novas aplicações**; garantindo que nos processos de reconversão, haja um **uso eficiente de recursos existentes**, nomeadamente, os recursos humanos.

Para tal, a Indústria Transformadora tradicional, terá de ultrapassar os principais desafios, entre outros:

- funcionalização de materiais e superfícies; materiais de proveniência biológica (biomateriais) ou sintéticos de inspiração biológica (bio miméticos);
- disponibilidade de materiais adequados a manufatura aditiva (com base em impressão 3D) e potenciar as aplicações de manufatura aditiva;
- compatibilidade entre materiais; materiais flexíveis para diferentes aplicações (incluindo eletrónica); modelação;
- procura de materiais alternativos a materiais naturais raros.

Relativamente ao objetivo de implementação de fábricas inteligentes onde os sistemas ciber-físicos monitorizam os **processos físicos de fabricação** e tomam decisões descentralizadas, os sistemas físicos transformam-se na *internet* das coisas, comunicando e cooperando entre si e com as pessoas em tempo real via uma rede sem fios.

A modernização da indústria passa por esta **transformação digital** e, para tal, terá de ultrapassar os seguintes desafios:

- Desenvolver novas tecnologias para novos produtos (com inteligência e conhecimento incorporados) e novos processos de fabrico; hibridização dos processos; processos multi-escala; tecnologias de processamento sem contacto; integração de métodos para a inspeção e controlo de qualidade dos produtos; produção orientada para a eficiência energética e sustentabilidade ambiental;
- Aplicação de sistemas ciber-físicos na indústria de manufatura; projetar tecnologia para sistemas estruturados, mas também para sistemas não estruturados; desenvolver redes de sensores inteligentes, máquinas inteligentes, células/subsistemas reconfiguráveis e; *Plug and Play*; Inteligência artificial; Integração na Internet das Coisas, análise de grandes quantidades de dados (*big data*), robótica colaborativa; criar sistemas produtivos totalmente flexíveis e modulares;
- Promover a eficiência pela otimização de recursos energéticos, de matérias-primas e de redução de custos, assim como uma maior flexibilidade, pelo desenvolvimento de produtos personalizados; criação de novos modelos de negócio; criação de valor e diferenciação; novos métodos de produção para a indústria tradicional; novos materiais de embalagem; melhor uso das matérias-primas e tecnologias na produção de materiais avançados; novos modelos e abordagens para prever as propriedades dos materiais; novos métodos e tecnologias de produção; novos sistemas de gestão integrada de riscos e segurança;
- Potenciar a economia em rede; fomentar modelos de indústria centrados no ser humano, onde a abordagem do design de produtos/serviços pode ter um papel fundamental através da aplicação de metodologias de *design thinking* e co-creation, aumentando a participação e envolvimento dos diferentes *stakeholders* no processo de desenvolvimento de novos produtos/serviços e aumentar a eficiência comunicacional.

Por exemplo, em ambientes de trabalho de elevado risco, a saúde e segurança dos trabalhadores pode ser drasticamente melhorada.

Também as cadeias de abastecimento podem ser mais prontamente controladas quando há dados, a todos os níveis, da manufatura à entrega; criando assim uma cadeia de valor mais eficiente.

O controlo computadorizado permite uma produção e indicadores muito mais fiáveis e consistentes, possibilitando o acesso a novas oportunidades de negócio.

Por outro lado, esta modernização industrial traduz-se em desafios sociais que devem também ser tidos em consideração para que o impacto se manifeste efetivamente na economia.

Com o cidadão cada vez mais consciente da sua liberdade e individualidade e vivendo no advento da tecnologia será necessário ultrapassar os desafios relacionados com:

- comportamento humano, perceções, emoções, preferências de consumo e de design;
- design de produto, arquitetura das fábricas e design dos espaços de trabalho;
- alteração de funções de um trabalhador na indústria transformadora;
- maior interação entre os trabalhadores e sistemas de apoio avançados e robots

Por exemplo, desenvolvem-se **modelos de negócio** e de estratégia orientados por dados. Os resultados para muitos negócios podem ser: o incremento de retorno, da parcela de mercado e dos lucros, além de uma procura crescente de talentos e formação baseados em competências específicas.

## 2. Capítulo II – Investigação e Inovação na área da Indústria e Manufatura em Portugal e no Mundo

### 2.1. Estado da Arte: os desenvolvimentos dos últimos 10 anos

Nos últimos anos tem-se verificado uma aceleração dos processos de inovação, nomeadamente envolvendo abordagens inteligentes baseadas na capacidade de circular, processar e aplicar grandes volumes de dados. Esta evolução tem trazido para a ribalta novas tecnologias, como por exemplo a impressão 3D, a um ritmo elevado, que há que saber potenciar. Estas tecnologias trazem por sua vez novas formas de encarar a produção em massa, que passa a ser compatível com a personalização dos produtos.

Como tendência mundial para 2030, a competição pelos recursos, em paralelo com as consequências das alterações climáticas ou a explosão demográfica são desafios reais. Em particular, espera-se que a exploração dos recursos naturais continue concentrada num pequeno número de regiões e países dominantes, com todos os riscos associados em termos de volatilidade de mercados.

O rápido crescimento esperado para a classe média e o acesso à informação irá duplicar a procura de produtos e serviços cada vez mais customizados e desenhados para responder aos desafios sociais, pelo que a escassez de algumas matérias-primas e energia e a gestão do conhecimento serão grandes desafios para o futuro. Acresce ainda a maior consciencialização da sociedade em matéria de sustentabilidade e responsabilidade social e ambiental. Desta forma, o desenvolvimento e manufatura de materiais e processos avançados deverão ter em conta a sua multifuncionalização, sustentabilidade e minimização do consumo de recursos.

Destacam-se os desenvolvimentos nos últimos 10 anos em diversos materiais avançados e multifuncionais, como em novos compósitos, em novos materiais para fabrico aditivo e o desenvolvimento de materiais inteligentes para diferentes sectores. É de salientar a integração sistemática dos aspetos ambientais numa fase inicial do *design* do produto e, logo, na seleção de materiais que minimizem o impacto ambiental, mas que, ao mesmo tempo, assegurem a competitividade.

Os principais contributos que permitiram alavancar o desenvolvimento tecnológico nacional envolveram a introdução de novos processos e sistemas de controlo de qualidade e gestão industrial, a adoção de processos capazes de trabalhar novos materiais e a adoção de sistemas robóticos e automatismos bem como de equipamentos de prototipagem rápida.

A indústria portuguesa tem enfrentado nos últimos anos alterações significativas ao nível dos processos, dos produtos e do seu modelo de negócio. Ao longo dos últimos anos foram vários os progressos tecnológicos que permitiram a introdução de significativas melhorias na área da gestão de recursos. O recurso a tecnologias de informação, comunicação, localização e robótica para controlo de processos e maior proximidade com o cliente, promove a eficiência industrial. A exploração da infraestrutura e conjuntura tecnológica nacional é fundamental para o desenvolvimento coordenado de tecnologias de manufatura avançada. Na última década tem-se observado uma consolidação das Redes Colaborativas e a introdução de procedimentos de “inovação aberta” a par com uma forte integração de novas tecnologias de manufatura com as tecnologias de informação e comunicação, combinadas com avanços nos modelos organizacionais, em novos modelos de negócio e definição de estratégias em função das cadeias de valor onde determinado setor industrial se insere.

## 2.2. Estratégias de Investigação e Inovação para a Indústria e Manufatura a nível internacional

A indústria é considerada a pedra angular da riqueza e da prosperidade no continente Europeu desde bem antes da criação da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço em 1951 e a sociedade e a economia europeia têm vindo a transformar-se desde então. Houve algo que não mudou: a indústria europeia continua a ser um catalisador determinante para o progresso e um *driver* para o futuro. A indústria – quer a manufatura como os serviços – é o motor da economia Europeia, oferece atualmente 50 milhões de empregos diretos, representa mais da metade do volume de exportações e gera 24% do PIB<sup>2</sup>. A Europa é um líder mundial em muitas indústrias que oferecem empregos de elevado valor acrescentado, que incluem o setor automóvel, aeronáutica, engenharia, produtos químicos e farmacêuticos.

No entanto, os pontos fortes europeus correm o risco de ser prejudicados se não for respondida a necessidade de investimento e vantagens competitivas nas Tecnologias Facilitadoras essenciais, que incluem a nanotecnologia, a biotecnologia, os materiais avançados, micro e nanoelectrónica, fotónica e processos de produção avançados. Novas tecnologias geram novos mercados. Isto é especialmente verdadeiro para o desenvolvimento integrado da tecnologia digital e produção avançada. Essas tendências definem a atuação da Europa na atual revolução industrial - mudanças rápidas e abrangentes na tecnologia estão a transformar a economia. Essa revolução apresenta desafios, mas alguns deles são oportunidades. Por exemplo, embora a adaptação a uma economia eficiente em termos de energia possa ser desafiadora, as atividades especializadas baseadas em projetos de energia representam agora dois terços do emprego geral no setor de construção, principalmente nas pequenas e médias empresas (PMEs). Isto mostra que esses desafios podem ser resolvidos positivamente.

A sociedade é profundamente influenciada pelos materiais e tecnologias avançados. Embora os materiais ajudem a melhorar os padrões e qualidade de vida, têm emergido constantemente novos desafios exigindo o desenvolvimento de novos materiais com propriedades diferenciadoras, o que representa um elemento-chave para o sucesso do setor produtivo do futuro, como pilar estruturante da competitividade da indústria europeia. O aumento da complexidade dos sistemas de materiais tem influenciado a substituição das tecnologias mecânicas simples por materiais inteligentes com propriedades desenvolvidas à medida. Assim, tornou-se imperativa a implementação de uma abordagem sistémica e os materiais devem ser desenvolvidos e utilizados considerando todo o ciclo de vida dos produtos, processos resultantes e matérias primas correspondentes e a pegada de carbono, mantendo a eficiência técnica e o racional económico. Estas características representam um desafio para os decisores políticos que são chamados a intervir através da legislação e da administração: financiamento da investigação e inovação, investimento tecnológico, regulamentação, política industrial, entre outros.

A Comissão Europeia (CE) tem tomado medidas fortes para endereçar os desafios chave da indústria europeia. A ambição da ação da CE é abordar de forma abrangente os desafios identificados pelos parceiros sociais e pelos decisores políticos e que focalizam nomeadamente acesso ao financiamento, eficiência de recursos, acesso à **digitalização**, acesso a **cadeias de valor globais**, desenvolvimento de **competências** e apoio ao **desenvolvimento de regulamentação**.

Portanto, é evidente a necessidade de implementar medidas concretas que permitam à Europa acompanhar as tendências tecnológicas mundiais e os concorrentes globais o que significa ter uma visão comum e trabalhar em conjunto a todos os níveis, do local ao europeu, para responder aos novos desafios industriais e ajudar a Europa a prosperar no mundo moderno. É necessário capacitar o setor industrial para potenciar a prosperidade e a criação de emprego. A implementação destas medidas implica, necessariamente, a **modernização industrial** e modernização da economia que deve abranger a **digitalização** (COM(2016)180), a **descarbonização** e a **economia circular**. Em consequência do impacto e da esperada alteração de paradigma nos fluxos de bens transacionáveis, as **ciências sociais e humanas** terão um papel muito relevante para conhecer melhor tendências de comportamento dos consumidores e

---

<sup>2</sup> [Industry in Europe Facts & figures on competitiveness & innovation 2017](#)

poder, assim, tomar medidas que possam contribuir para as decorrentes alterações dos padrões de consumo.

A nível Europeu e fruto da transversalidade do tema, contribuem para o alcance dos objetivos várias ações de investigação e inovação e mais ativamente as Parcerias Público Privadas Fábricas do Futuro (FOF), Indústria de Processos Sustentáveis (SPIRE) e Edifícios Energeticamente Eficientes (EEB) que definiram roteiros setoriais até 2030. De uma forma resumida, e assentes na política da digitalização da economia, e nas prioridades para a Indústria 4.0 e no pacote da economia circular, as linhas de atuação visam desenvolver um quadro para a coordenação de iniciativas com vista à **digitalização da indústria**, promover o coinvestimento no reforço das capacidades de inovação da Europa em matéria digital, a definição do quadro regulamentar adequado, capital humano preparado e com as competências necessárias para a transformação digital. As iniciativas devem contribuir para a produção simbiótica e a criação de redes de valor sustentáveis, que considerem as necessidades produtivas numa economia circular e, para os quais a monitorização e o controlo dos processos podem ajudar a otimizar o desempenho e consumo de recursos. Do ponto de vista das cadeias de abastecimento, as iniciativas visam o aumento da eficiência energética e dos recursos através da valorização ótima e utilização e gestão inteligente das matérias primas existentes, alternativas e renováveis. Em termos de processo, o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sistemas de energia para a indústria de processo, incluindo a simbiose industrial. No respeitante às aplicações, devem desenvolver-se novos processos para produzir materiais para aplicações de mercado que aumentam a eficiência energética e de recursos a jusante e a montante na cadeia de valor. E por fim a conversão de resíduos em recursos pela prevenção, valorização e reutilização dos fluxos de resíduos dentro e entre setores, incluindo a reciclagem de fluxos de resíduos pós-consumo e novos modelos de negócio para a eco inovação.

Simultaneamente, vários países desenvolverem roteiros com metas e prioridades e que descrevem a visão estratégica para a indústria e manufatura no médio e longo prazo a nível nacional. Neste subcapítulo é apresentada uma súmula da análise comparativa dos documentos estratégicos - Agendas de I&I, Estratégias sectoriais, Roteiros e Planos de Ação – de países europeus (Alemanha, Espanha, França, Holanda, Itália) e Estados Unidos da América e China. Esta análise sintética procura identificar as tendências e os desafios de I&I para a indústria e manufatura. Este exercício foi ainda confrontado com o estudo da OCDE *enabling the next production revolution* que resume o contexto e desafios esperados para a transformação digital da indústria e manufatura.



Figura 2 - Exemplos de documentos de estratégias nacionais e internacionais

Dos documentos analisados, torna-se possível agrupar importantes vetores estratégicos dos países Europeus em:

- i) **Digitalização da indústria:** *big data*, virtualização e internet das coisas (IOT), modelação, monitorização e controlo, customização em massa, sensores, simulação e engenharia numérica, infraestruturas de 5ª geração (5G), sistemas embebidos, inteligência artificial, tecnologias imersivas, supercomputadores, computação e internet quântica, novas integrações hardware-software, etiquetagem de objetos, comunicação internet-objeto através de radiofrequência de baixo consumo, captura em tempo real de dados, otimização de ações, industrialização virtual, automação & robótica, qualidade da conectividade, confiança e segurança digital, economia dos dados, tecnologias de conceção de conteúdos e de experiências, produtos serviços inteligentes (personalização), tecnologias inteligentes – sistemas e *blockchain*, estratégias e gestão para os sistemas produtivos de próxima geração e novos modelos de negócio;



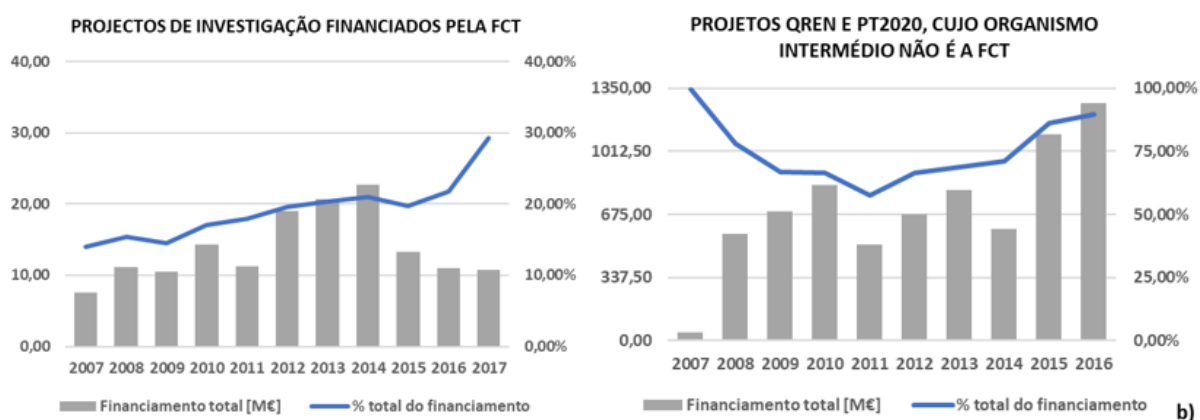
- ii) **Materiais avançados:** impressão 3D, design de materiais e compósitos, materiais para a energia sustentável, materiais para a saúde, sistemas de elevada tecnologia e materiais ativos e inteligentes, revestimentos ativos, materiais de ligação, ciclos de vida de materiais sustentáveis, microfluidos, objetos inteligentes, nanoelectrónica, compreender a relação entre a estrutura, a composição e a função;
- iii) **Robótica e sistemas avançados de manufatura:** robots e máquinas inteligentes, automação e robótica, autonomia/produktividade em tempo real, transparência total (contextualização abrangência, robot colaborativo com relatórios de dados), sistemas ciberfísicos, customização em massa, manufatura aditiva, sistemas para a produção personalizada, produção inteligente (fábricas flexíveis devido à digitalização), processos produtivos inovadores, sistemas de produção evolutivos e adaptáveis;
- iv) **Recursos, eficiência energética e descentralização da produção de energia:** (energia do vento, alternativas/não convencionais, solar, geotérmica) – energias limpas e renováveis, armazenamento de energia, matérias primas alternativas, química verde, processos relacionados com a química do petróleo, reciclagem de metais críticos e terras raras, redes elétricas inteligentes, combustíveis sintéticos, tecnologias de hidrogénio, baterias eletroquímicas de nova geração, mobilidade ecológica, gestão inteligente da água, tecnologias de análise rápida (água, ar e do solo), tratamento dos solos poluídos, redução de resíduos, cidades sustentáveis, sistemas de renovação de edifícios existentes, sistemas de construção de elevada qualidade para a construção nova, sistemas integrados de energia em todo o edifício, tecnologia de recuperação de calor a baixas temperaturas, estratégias, métodos, e instrumentos para a sustentabilidade industrial. Fontes alternativas: tecnologia para a energia nuclear, tecnologias para a propulsão;
- v) **Capital humano e colaboração:** o lugar do humano na fábrica, consciencialização e comunicação, formação académica e laboral, melhoria de competências, colaboração homem-máquina e homem-robot, análise comportamental, perfil de consumo, fomentar a colaboração multidisciplinar pela criação de ambientes colaborativos, sistemas para a valorização das pessoas nas fábricas;
- vi) **Saúde e qualidade de vida:** padrões e comportamentos de consumo, medicina do futuro (engenharia celular e de tecidos, novas modalidades de imunoterapia, dispositivos com bio marcadores, tecnologias de imagiologia para a saúde, análise numérica dos dados da saúde, biossensores), alimentação inteligente (soluções inovadoras de proteção e estimulação de vegetais, estirpes probióticos para a bio preservação e nutrição), nanomedicina (novas aplicações médicas);
- vii) **Regulamentação e normalização:** adequação do quadro regulatório e normalização que assegurem as condições necessárias para a implementação e incentivo ao investimento, impulsionando soluções para projetos específicos e facilitar a implementação da indústria 4.0.

### 2.3. A Investigação e Inovação em Portugal na área da Indústria e Manufatura nos últimos 15 anos

Com o objetivo de caracterizar a evolução do desenvolvimento em atividades de I&I relacionadas com a área da indústria e manufatura foram analisadas as bases de dados referentes aos projetos de I&I nacionais financiados pela FCT e pelo Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) e Portugal 2020 (PT2020), assim como projetos Europeus (com participação nacional) financiados pelo 7º Programa-Quadro de I&DT (7ºPQ) e pelo Horizonte 2020 (H2020) e a formação avançada (bolsas de doutoramento, pós-doutoramento e emprego científico) para o período 2007- 2016 (exceto quando indicado outro período). Neste subcapítulo serão apresentados e discutidos os dados gerais uma vez que a informação detalhada referente aos indicadores produzidos será apresentada num documento complementar a esta agenda.

Apresenta-se na Figura 3 a evolução do financiamento e do número de projetos de I&I financiados no

âmbito da indústria e manufatura para o período 2007-2016 ao nível nacional.



**Figura 3 - Financiamento nacional de projetos de I&I no âmbito da indústria e manufatura para o período 2007-2017.** O eixo vertical esquerdo representa o orçamento anual em M€ e o eixo vertical direito a percentagem do total de financiamento executado (em análise). a) financiamento da FCT (o ano de 2017 é provisório) e b) financiamento com fundos do QREN e do Portugal2020.

De acordo com as imagens da figura anterior é possível identificar uma tendência crescente na percentagem de **financiamento de projetos** no âmbito de I&I da indústria e manufatura, financiados pela **FCT**. Em termos absolutos o orçamento anual também regista um aumento ao longo do período de análise, mais notório entre 2012 e 2014.

De realçar que nos anos de 2008 a 2010 foram concedidos o maior número de projetos entre os anos considerados e que os anos de 2011, 2014 e 2017 foram os anos com menor número de projetos concedidos nesta área. Entre 2007 e 2017, a FCT financiou um total de 923 projetos com um financiamento de 145 M€ (19,3 % do total do orçamento alocado a projetos financiados pela FCT).

Do total dos projetos concedidos pela FCT, 16% são do âmbito desta agenda o que revela o grande desenvolvimento que tem sido feito pelas entidades nacionais. No tocante aos **painéis científicos**, a grande maioria dos projetos financiados pode dividir-se em 4 áreas fundamentais: ciências de engenharia e tecnologia (51,4 %), ciência exatas (21,1 %), ciências naturais (14,7 %), ciências agrárias e veterinárias (7,3 %) e ciências médicas e da saúde (1,8%), com o mesmo valor que as Humanidades e as Ciências Sociais.

O **QREN** e o **PT2020** contribuíram para o financiamento da investigação e inovação no âmbito da indústria e manufatura, no período 2007-2016, com 7929 projetos financiados e um investimento superior a 797,51 M€. O contributo destes programas para a área da indústria e manufatura representa 49,7% do total de projetos concebidos e 73,4% do total de financiamento executado.

Desconsiderando o ano de 2007 e embora a evolução dos projetos financiados não seja linear, é verificável que o financiamento atribuído a esta área se manteve de forma constante superior a 514 M€ (corresponde ao ano de 2011 com menor financiamento atribuído).

<sup>3</sup> Apenas foram considerados para análise os projetos aprovados no âmbito das seguintes medidas: QREN: 1.1.1.1 - I&DT Entidades do SCTN/Projetos Individuais; 1.1.1.2 - I&DT Entidades do SCTN/Projetos em Co-promoção; 1.1.3.1 - Promoção da cultura científica e tecnológica/Projetos Individuais; 1.1.7.1 - IC&DT Estratégicos e de Interesse Público/Projetos Individuais; 1.1.7.2 - IC&DT Estratégicos e de Interesse Público/Projetos em Co-promoção; 1.2.1.1 - I&DT Empresas/Projetos Individuais; 1.2.1.2 - I&DT Empresas/Projetos em Co-promoção; 1.2.1.3 - I&DT Empresas/Projetos Mobilizadores; 1.2.1.4 - I&DT Empresas/Vale I&DT; 1.2.1.5 - I&DT Empresas/Projetos Individuais/Regime Especial; 1.2.2 - I&DT Colectiva; 1.2.3.1 - Criação e Reforço de competências Internas de I&DT/Núcleos de I&DT; 2.1.1 - SI Inovação/Inovação Produtiva; 2.1.2 - SI Inovação/Projetos do Regime Especial; 2.1.3 - SI Inovação/Projetos de Interesse Estratégico; 2.1.4 - SI Inovação/Empreendedorismo Qualificado; 2.2.1 - SI Qualificação PME/Projetos Individuais e de Cooperação; 2.2.2 - SI Qualificação PME/Projetos Conjuntos; 2.2.3 - SI Qualificação PME/Vale Inovação; 2.3 - Projetos transitados do QCA III e, 5.1 - Sistema de Apoio a Ações Coletivas (SIAC).

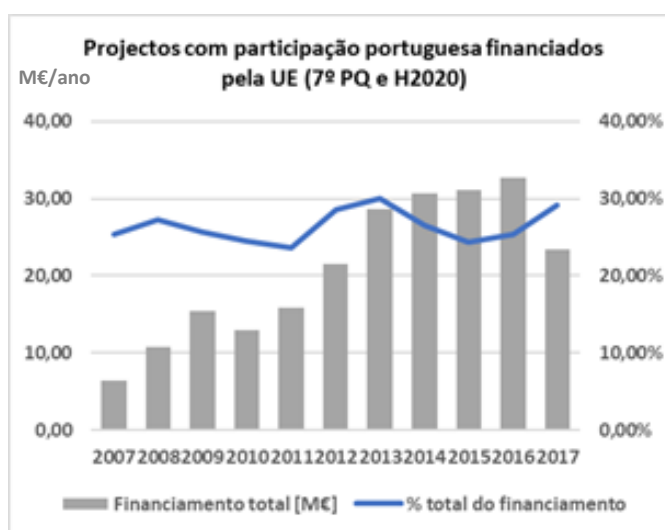
<sup>3</sup>Para efeitos de distribuição do financiamento, o investimento elegível total foi repartido ao longo de 3 anos.

<sup>3</sup>Informação disponível para 6154 projetos.

Verifica-se um aumento considerável do financiamento atribuído no início do período de programação 2014-2020 (correspondente ao PT2020) e que representa mais do dobro do atribuído no período homólogo do período de programação anterior.

Estes valores confirmam as principais prioridades do Portugal 2020 que visam incentivar o setor privado e o emprego, com cerca de 50% dos apoios dirigidos às empresas. Os projetos apresentam uma grande diversidade de setores e áreas de negócio, destacando-se, no entanto, **os moldes, mobiliário de madeira, plásticos, calçado, vinhos e vestuário**. Importa referir que o envelope financeiro disponibilizado por estes programas é substancialmente superior ao de outros programas nacionais.

Na figura 4 é exposto o resultado da análise de internacionalização de I&I, correspondente ao financiamento captado por entidades nacionais nos Programas Quadros Europeus (7º PQ e H2020).



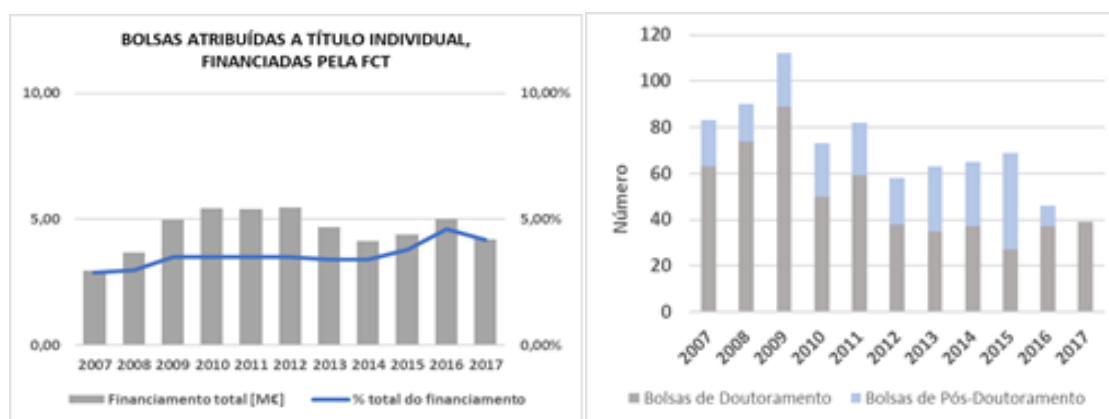
*Figura 4 - Financiamento Europeu (7º Programa-Quadro e Horizonte 2020) de projetos de I&I no âmbito da indústria e manufatura no período 2007-2017 com participação Portuguesa.*

Entre 2007 e 2017 foram financiados 587 projetos com participação nacional pelos programas quadro, 61 dos quais coordenados por entidades nacionais. Verifica-se uma tendência crescente no número de projetos e orçamento alocados à temática da indústria e manufatura.

De salientar que cerca de 26,4% dos projetos europeus com participação portuguesa são relevantes para a área da indústria e manufatura. As entidades nacionais conseguiram em 10 anos, captar cerca de 223 M€ para desenvolverem atividades de investigação e inovação no âmbito desta agenda. Em média, o número de parceiros envolvidos nos projetos no âmbito da indústria e manufatura ronda as 15 entidades.

Salienta-se acima de tudo o impacto da participação nestes programas que se consubstancia num importante veículo de internacionalização e afirmação das entidades nacionais no contexto europeu.

A Figura 5 mostra o resultado da análise do investimento da FCT em formação avançada em termos de bolsas de doutoramento e pós-doutoramento no âmbito da indústria e manufatura.



**Figura 5** – Bolsas de doutoramento e pós-doutoramento atribuídas pela FCT, no âmbito da indústria e manufatura, no período 2007-2017. a) Financiamento atribuído (o eixo vertical esquerdo representa o orçamento anual em M€ e o eixo vertical direito a percentagem de financiamento atribuído a bolsas na temática da indústria e manufatura relativamente ao total de bolsas financiadas anualmente) e b) Número de bolsas de doutoramento e pós-doutoramento financiadas anualmente entre 2007 e 2017.

Entre 2007 e 2017, a FCT financiou **780 bolsas** correspondentes a um financiamento de cerca de **51,6 M€**. As bolsas de doutoramento atribuídas em áreas relacionadas com a indústria e manufatura, no geral, têm vindo a diminuir ao longo dos anos ao contrário das bolsas de pós-doutoramento atribuídas que, no geral, têm vindo a aumentar ao longo dos anos. Ainda assim, em comparação com as restantes áreas, verifica-se um valor muito baixo (**4%**) de bolsas atribuídas em áreas relevantes para a área desta agenda. No tocante à nacionalidade, 83,8% das bolsas foram atribuídas a cidadãos Portugueses, sendo seguido por cidadãos brasileiros (2,9%), indianos (2,5%) e espanhóis (1,8%).

No que respeita aos **painéis de avaliação** (no atinente a bolsas), as áreas científicas dividem-se em 6: ciências de engenharia e tecnologias (50%), ciências exatas (32,1%), ciências sociais, humanidades e artes (8,8%), ciência agrárias e veterinárias (7,7%) e ciências médias e da saúde (1,4%).

Ao abrigo do **programa Investigador FCT** (emprego científico) foram financiados, pela FCT, **109 contratos** no âmbito da Indústria e Manufatura (**15 % do total de contratos financiados pela FCT**) com um investimento de cerca de **16,35 M€** para o período 2012 a 2017.

O emprego científico nesta área tem vindo a aumentar de uma forma geral ao longo dos anos em linha com a necessidade crescente de investigação e inovação nesta área. Tal como nas bolsas individuais a maioria dos contratos foram estabelecidos com cidadãos nacionais (78,9%), seguido de cidadãos espanhóis (4,6%) e restantes cidadãos de países europeus.

A Tabela 1 apresenta a súmula da informação contida nesta subseção da agenda. **Em termos globais**, as entidades nacionais dispuseram de **7479,25 M€** no período de **2007 a 2017** para desenvolver **atividades de I&I na área da indústria e manufatura**.

*Tabela 1- Financiamento de I&I no âmbito da indústria e manufatura entre 2007 e 2017*

Tipologia	Projetos FCT	Projetos QREN e PT2020	Projetos 7ºPQ e H2020	Bolsas FCT
Número	923	6154	204	780
Financiamento	117 M€	7098 M€	223 M€	52 M€
% total de financiamento executado	18,1%	73,4%	26,4%	4%

Aproveitando a publicação da Direção-Geral de Estatísticas de Educação e Ciência (DGEEC) sobre despesa nacional em I&D por área temática da Estratégia Nacional de Especialização Inteligente 2014-2016 (ENEI), vamos analisar os dados desta publicação relativamente aos dados encontrados para esta agenda.

As 15 áreas temáticas de I&D definidas pela ENEI – as designadas prioridades de especialização inteligente – enquadram-se em 5 grandes eixos temáticos<sup>4</sup>. Esta agenda, Indústria e Manufatura, inclui, sob esta designação, as Tecnologias de produção e indústrias de produto, as Tecnologias de produção e indústrias de processo e matérias-primas e materiais.

<b>Indústria e Manufatura</b> - Matérias-primas e materiais - Tecnologias de produção e indústrias de produto - Tecnologias de produção e indústrias de processo	<b>Tecnologias de produção e indústrias de produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de tecnologias inovadoras para recursos minerais sustentáveis (utilização de novos materiais; processamento de minérios e minerais; tecnologias eco-inovadoras; recursos minerais escassos; materiais para tecnologias energéticas pouco intensivas em carbono).</li> <li>- Produção sustentável de matérias-primas e materiais derivados da floresta (pasta de papel; madeira; cortiça; redução de resíduos e aproveitamento de biomassa; monitorização ambiental; reutilização de resíduos).</li> <li>- Aplicação de tecnologias avançadas a matérias-primas e materiais (eficiência de recursos através da aplicação das Tecnologias de Informação e Comunicação - TIC; novos materiais).</li> <li>- Aplicação de novos materiais às indústrias tradicionais. Uso eficiente, seguro e sustentável da produção industrial de recursos (alternativas para matérias-primas críticas; eficiência na exploração e uso de matérias-primas; exploração de matérias-primas na terra e no mar; exploração de terras raras).</li> </ul>
	<b>Tecnologias de produção e indústrias de processo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da competitividade das indústrias de processo (cimento, pasta de papel, química, farmacêutica e outras; integração da cadeia de valor; processos produtivos mais eficientes; degradabilidade dos produtos; redução de emissões e resíduos; eficiência energética).</li> <li>- Química Verde (reutilização de produtos e matérias-primas e eficiência energética; processos químicos eficientes).</li> <li>- Biotecnologia industrial.</li> <li>- Indústria farmacêutica.</li> <li>- Tecnologias de produção e indústrias de produto;</li> <li>- Promoção do crescimento industrial sustentável baseado em produtos de alto valor acrescentado e conteúdo tecnológico (incorporação de design, novos materiais e TIC; integração produto-serviço; customização de produtos);</li> <li>- Fábricas do Futuro (tecnologias de produção e instrumentação; sistemas de produção flexíveis e reconfiguráveis, inteligentes e adaptativos, colaborativos e em rede, e para customização em massa; novas tecnologias de produção; tecnologias para a gestão do ciclo de vida dos produtos; eficiência energética e minimização de impactos ambientais na produção industrial</li> </ul>

Relativamente à distribuição do investimento em I&D por área temática, verifica-se (Figura 6) que a área da Indústria e Manufatura é a **segunda área** onde as entidades nacionais mais investem em

<sup>4</sup> [Despesa Nacional em I&D por área temática da ENEI \(2014 - 2016\), DGEEC, 2018](#)

desenvolvimentos e inovação constituindo cerca de **18% do investimento total**.

É possível ainda verificar que tem existido uma tendência do **aumento do investimento nesta área ao longo dos anos**.

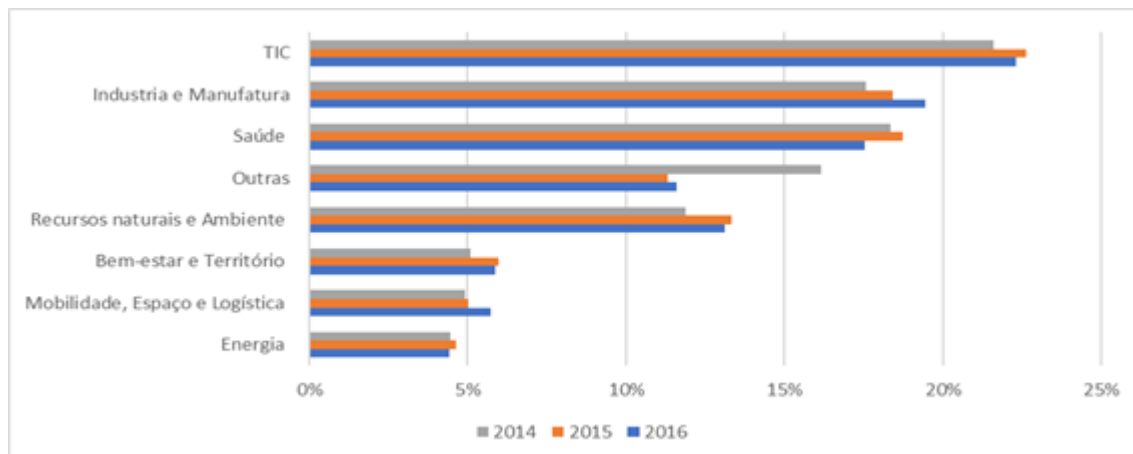


Figura 6 - Estimativas da percentagem de investimento nacional em I&D por área temática, por ano

Relativamente ao tipo de entidades que estão a investir em I&D, verifica-se na figura 7, que as Empresas e o Ensino Superior são os grandes contribuintes, em contraposição ao Estado e às Instituições Privadas sem Fins Lucrativos (IPSFL), no caso da área Indústria e Manufatura.

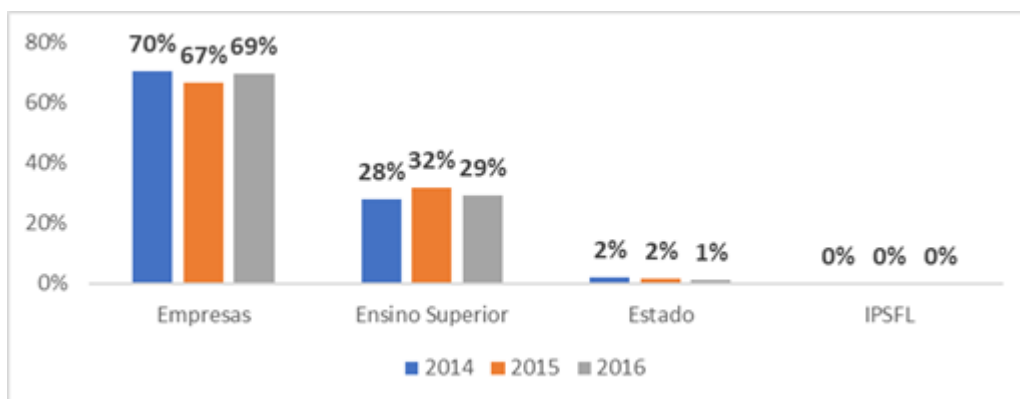


Figura 7- Distribuição da despesa em I&D por tipo de entidade, por ano.<sup>5</sup>

Analisando a figura 8, conclui-se que a despesa em I&D na **área da Indústria e Manufatura** é na maioria executada por **Empresas** (69%), assim como no caso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) (80%) e no Eixo da Mobilidade, Espaço e Logística (72%), áreas onde existe em Portugal um tecido empresarial competitivo.

<sup>5</sup> [Despesa Nacional em I&D por área temática da ENEI \(2014 - 2016\), DGEEC, 2018](#)

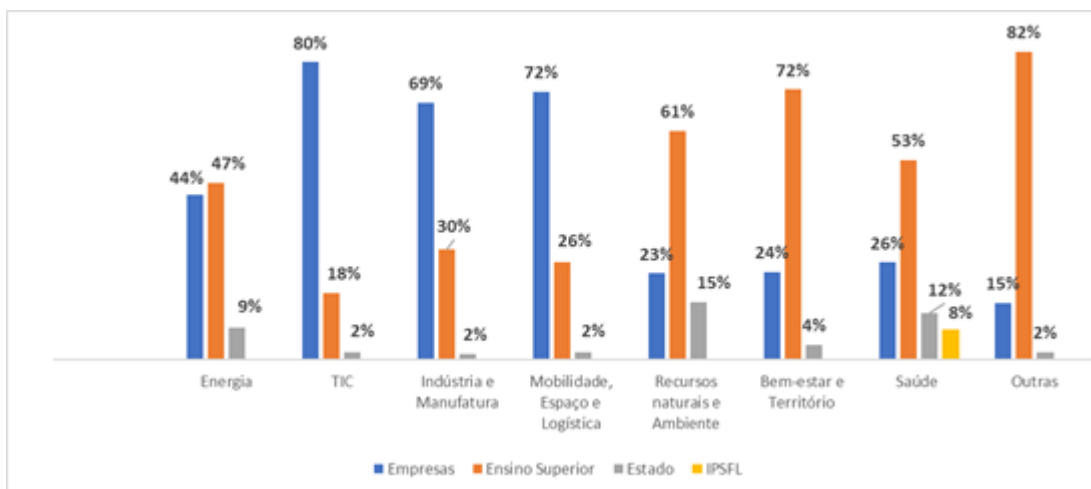


Figura 8 - Distribuição da despesa em I&D por tipo de entidade, por área temática, em média por ano (2014-2016).

Outra informação apresentada é a distribuição da despesa em I&D na área da Indústria e Manufatura por região NUTS II (Figura 9). Esta análise regional permite verificar que a despesa em I&D nesta área se concentra na **região Norte** (13%), na área **metropolitana de Lisboa** (11%), na **região Centro** (9%) e não tem expressão nas restantes regiões.



Figura 9 - Distribuição da despesa em I&D na área da Indústria e Manufatura, em média dos anos 2014 - 2016, por região.

#### 2.4. Diagnóstico da área em Portugal

Até 2030 Portugal tem de se afirmar como um país de vanguarda ao nível do desenvolvimento e adoção na indústria de tecnologias avançadas de produção e processos industriais eficientes, de materiais e processos tecnológicos avançados. O bom resultado obtido nos últimos anos ao nível do aumento das exportações proporcionadas pela indústria nacional faz com que se fale cada vez mais em novas apostas na indústria para que se torne mais competitiva. Contudo, o ritmo crescente a que são disponibilizadas novas tecnologias impõe novas formas de encarar e implementar a inovação tecnológica. O aparecimento de novas tecnologias tem de ser percecionado e avaliado com muito maior rapidez (por exemplo, neste momento a OCDE estuda metodologias sistemáticas para a avaliação de novas tecnologias). Por outro lado, a sua implementação em tempo economicamente útil exige a abertura de novos canais mais flexíveis e eficientes. Este processo só seria possível com mecanismos de pesquisa/avaliação do panorama tecnológico a nível mundial e de atuação rápida com carácter permanente.

As análises de diversas dimensões para a investigação e inovação na indústria permitiram sistematizar e organizar em cinco dimensões o grupo de ações que conduzam a uma indústria mais competitiva no mercado global.

Estas cinco dimensões desta agenda de inovação para a indústria e manufatura 2030 perspetivam apostas no desenvolvimento de materiais avançados, em processos tecnológicos avançados, na gestão eficiente dos recursos, na área da robótica e sistemas de manufatura inteligentes e ainda no desenvolvimento de sistemas de produção industrial centrado no ser humano.

Em termos do desenvolvimento e produção de **materiais avançados**, alinhada com as metas Europeias em matéria de gestão de recursos, salienta-se um conjunto de ideias estruturantes como a valorização de matérias-primas e tecnologias endógenas, desenvolvimento de superfícies funcionais e inteligentes, a multifuncionalidade e compatibilidade dos materiais. A valorização de resíduos naturais ou industriais e o eco design assumem cada vez mais um papel importante a par com a modelação de materiais e previsão das suas propriedades e comportamento. É importante, neste contexto, garantir um abastecimento sustentável de matérias-primas que, num quadro do uso eficiente de recursos, é uma prioridade fundamental para a UE. São ainda fatores relevantes de inovação a multifuncionalidade para explorar as potencialidades múltiplas do mesmo material.

Salienta-se a necessidade de apostas em **processos tecnológicos avançados** e inteligentes, como é o caso dos processos de desmaterialização e de engenharia inversa, de processos híbridos com base na integração de novos materiais avançados. É importante a nano e micro-fabricação de componentes bem como o desenvolvimento de novos processos industriais e equipamentos. Outro aspeto transversal a muitos setores será a integração avançada de processos para o aproveitamento de subprodutos ou resíduos industriais.

É inevitável a aposta em processos de maior interação e o desenvolvimento de interfaces como as ferramentas de visualização e simulação com o cliente final em diferentes fases do processo de fabrico para exploração de oportunidades na customização e personalização em massa de produtos. A produção customizada permite colocar no mercado produtos diferenciados de elevada qualidade a custos razoáveis o que implica a reengenharia de processos ou a criação de linhas de produção mais flexíveis e integração de tecnologias avançadas.

A modernização industrial necessita também de uma aposta ao nível do uso e **gestão eficiente de recursos** (energia, água, materiais, logísticos, entre outros) para dar resposta aos desafios societários e às diretivas e metas europeias estabelecidas. Esta área pode conduzir a uma alteração significativa ao nível dos modelos de negócio e fomentar e materializar abordagens em simbiose industrial multissetorial.

As empresas de manufatura têm-se deslocado ao longo dos anos do ocidente para oriente. Este fenómeno deve-se a vários fatores, nomeadamente, a custos de mão-de-obra e energia mais baixos, menores restrições ambientais ou a proximidade ao grande mercado asiático. A **robótica e os sistemas de manufatura inteligente** e colaborativa podem dar uma resposta interessante a uma indústria mais competitiva, de conhecimento intensivo e, por isso, com menores riscos de deslocalização. Trata-se do início da exploração da colaboração Homem-máquina em contextos industriais.

Em termos de inovação, devem-se considerar as questões relacionadas com a colaboração e proximidade entre robôs e operadores humanos na indústria, devendo os trabalhadores terem as tarefas e atividades mais nobres, estimulantes e seguras. Resulta daqui a necessidade da requalificação e capacitação dos trabalhadores existentes no sentido de os dotar de maiores competências.

Se as anteriores quatro revoluções industriais foram impulsionadas por mudanças tecnológicas, aponta-se que a designada “indústria 5.0” terá o seu epicentro no ser humano. Assim, a quinta dimensão desta agenda de inovação foca-se sobre a **produção industrial centrada no ser humano** e nas redes



colaborativas que potenciam essa transformação ou modernização industrial. Potenciar a economia em rede, fomentar modelos de indústria centrados no ser humano, aumentar a eficiência comunicacional promovem uma maior sustentabilidade e competitividade da indústria do futuro.

### 3. Capítulo III – As Políticas Públicas e a investigação e inovação na área da Indústria e Manufatura

#### 3.1. A Indústria e Manufatura e as Políticas Públicas nos últimos 10 anos: temas e impactos

Portugal tem sido classificado como um dos países moderadamente inovadores de acordo com os indicadores da União Europeia integrados no [European Innovation Scoreboard](#). Ainda assim tem ficado patente a nota de que Portugal integra um grupo de economias que está a convergir em muitos domínios da inovação a par com o desempenho de muitos dos parceiros europeus mais evoluídos. Esta constatação é válida, independentemente de qualquer que seja o agregado económico em análise, na medida em que a inovação é inevitavelmente aliada ao crescimento das empresas, das regiões ou dos países. Naturalmente, as estratégias públicas de desenvolvimento económico, indiferenciadas por setor de atividade económica, têm vindo ao longo da última década a preocupar-se em oferecer as condições necessárias e favoráveis à contínua prossecução do desenvolvimento das economias e das empresas.

De acordo com o Relatório Económico da OCDE sobre Portugal de 2017<sup>6</sup>, *“A economia de Portugal tem vindo a recuperar gradualmente de uma recessão profunda. Esta recuperação tem sido acompanhada pela redução dos desequilíbrios construídos no passado e apoiada por reformas estruturais abrangentes. Melhorias sustentáveis do nível de rendimento no futuro serão baseadas no reforço do investimento, das qualificações e da produtividade.”*

Instrumentos, programas e políticas tais como o SIFIDE (incentivos fiscais à despesa com I&D), a estratégia nacional para os resíduos industriais, as parcerias internacionais de investigação e inovação, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, a estratégia do fomento industrial para o crescimento e o emprego e a política de clusterização, são algumas das iniciativas que foram sendo elaboradas e que apresentam potencial impacto na investigação e inovação na Indústria e Manufatura.

O SIFIDE, existente desde 1997, descontinuado em 2004, instituído novamente em 2006 e reforçado em 2011, apesar de ser uma medida fiscal, teve repercussões diretas no investimento e desenvolvimento em investigação e inovação. *“Of the approximately 222 million euro of tax incentives granted under SIFIDE between 2006 and 2008, nearly half were concentrated in six industries, which represent 9% of GDP and 1% of domestic companies.”* A área da Indústria e Manufatura inclui três (produção de componentes para motores de automóveis e motores automóveis, telecomunicações e produção de equipamentos de telecomunicações e eletrónicos e produtos óticos) das 6 indústrias referidas.<sup>7</sup>

A **estratégia nacional para os resíduos industriais** assenta em dois documentos de base que remontam ao início dos anos 2000, com várias alterações desde então, i.e., no Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais (PESGRI) e no Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI). Ambos os instrumentos se enquadram no Regime Geral de Gestão de resíduos (estabelecido pelo DL 178/2006, alterado por DL 73/2011, DL 67/2014 e 165/2014) e no Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2014-2020 (RCM 11/2015).<sup>8</sup> No contexto do PESGRI foi elaborado o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI 2000-2015). O PNAPRI visa principalmente a redução da quantidade e perigosidade dos resíduos industriais, através de implementação de tecnologias de prevenção da poluição nos processos de produção. Para o efeito, inclui 21 Guias Técnicas Sectoriais justificando que a produção com qualidade pode significar otimização de recursos, redução de perdas, incluído matérias-primas, água e energia, bem como a disponibilidade no mercado de produtos de baixo impacte ambiental, com ciclos de vida longos e mais facilmente recicláveis.<sup>3</sup> A área da Indústria e Manufatura inclui 15 setores (Metalurgia e metalomecânica; têxtil; borrachas e recauchutagem de pneus; curtumes; indústrias gráficas e de

<sup>6</sup> <https://www.oecd.org/eco/surveys/Portugal-2017-OECD-economic-survey-overview-portuguese.pdf>

<sup>7</sup> *Institutional conditions for effective and legitimate industrial policies: the case off Portugal*, R.P. Mamede, P.A, Feio, 2012, documento de trabalho

<sup>8</sup> <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=208>

transformação de papel; madeira e mobiliário; tintas, vernizes e colas; químico; calçado; tratamentos de superfície; cerâmica; cortiça; material elétrico e eletrónico; papel e cartão; refinação do petróleo e petroquímica) dos 21 referidos.

O Governo português iniciou em 2007 várias **parcerias internacionais**<sup>9</sup> agrupando universidades portuguesas e instituições líderes a nível mundial no domínio da investigação científica: o *Massachusetts Institute of Technology*, a *Carnegie-Mellon University*, a *University of Texas at Austin*, a *Fraunhofer-Gesellschaft* e *Harvard Medical School*. Por outro lado, foi iniciado um ambicioso programa de cooperação luso-espanhol em NanoTecnologias. Como consequência dessas atividades, e que foram relevantes para o desenvolvimento da área da Indústria e Manufatura, foram criados:

- **Programa MIT-Portugal:** colaboração internacional que demonstrou que o investimento em ciência, tecnologia e ensino superior pode ter um impacto positivo e duradouro na economia ao endereçar assuntos sociais chave através da qualidade da educação e investigação no campo dos sistemas de engenharia. Este programa teve como áreas chave para o desenvolvimento económico e impacto social os Sistemas de Bioengenharia, Design de Engenharia e Manufatura Avançada, e Sistemas de Transporte;
- **Programa UTAustin|Portugal:** colaboração internacional lançada em 2006 com o objetivo de aumentar os programas académicos e de investigação em tecnologias emergentes em académicas: Digital Media, Matemática Portugal. Desde o início do programa o Digital Media foi explorado através de 4 disciplinas, Computação Avançada e Nanotecnologia;
- **International Iberian Nanotechnology Laboratory** (Braga): foi constituído com a visão de se tornar o *hub* mundial para a exploração de nanotecnologia e com a missão de realizar investigação interdisciplinar de ponta, articular e explorar a nanotecnologia em benefício da sociedade;
- **UTEN Network** (*University Technology Enterprise Network*): programa criado em 2007 entre o governo português e a Universidade do Texas em Austin (UT Austin) para fornecer uma saída para a comercialização dos investimentos em ciência e tecnologia no país. A missão da UTEN evoluiu gradualmente para construir uma rede profissional de transferência e comercialização de tecnologia, globalmente competitiva e sustentável em Portugal, orientada para os mercados internacionais.

O **Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética 2016 - PNAEE** (RCM 20/2013)<sup>10</sup>, lançado em 2008 e revisto em abril de 2013, é um documento estratégico que tem como principais objetivos a melhoria da eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, a reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa e o aumento da proporção de fontes de energia renováveis no cabaz energético nacional. O Plano abrange seis áreas específicas, duas das quais (Transportes e Indústria) integram a área da Indústria e Manufatura. Estas áreas agregam um total de 10 programas, que integram um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos de melhoria da eficiência energética.

Em 2013, foi publicada a [Resolução do Conselho de Ministros n.º 91/2013](#), sobre a **Estratégia de fomento Industrial para o Crescimento e o Emprego 2014-2020**, cujo texto destaca “(...) a ciência e tecnologia, enquanto motores de prosperidade e crescimento económico, e em particular a importância de estreitar a relação entre a investigação e o tecido produtivo do nosso País através do estímulo às parcerias entre unidades de investigação e empresas e da renovação de parcerias estratégicas internacionais, com particular enfoque no empreendedorismo e na inovação.”<sup>6</sup> A Estratégia de Fomento Industrial para o Crescimento e o Emprego 2014-2020 tem como objetivo agregador atingir um crescimento sustentável da economia nacional em torno dos 1,5% em 2015, criando condições para que este valor seja claramente superado em 2020, assente em vários pressupostos, um dos quais é: Investigação, Desenvolvimento e Inovação (I&D&I) “reforçar o investimento em I&D&I (por forma a atingir o valor de cerca de 2,7% do PIB,

<sup>9</sup> <https://www.fct.pt/apoios/cooptrans/parcerias.phtml.pt>

<sup>10</sup> <http://www.pnaee.pt/pnaee>

em 2020)”<sup>11</sup>.

No quadro europeu de apoio para o período 2007-2013 foi iniciada a dinamização de iniciativas de eficiência coletiva cujos resultados se traduziram numa dinâmica de atores empresariais e entidades de suporte à inovação com impacto no aparecimento e desenvolvimento de redes e cadeias de valor, com ganhos em matéria de inovação, transferência de conhecimento e capacidade de abordagem a mercados externos. Estas iniciativas estratégicas de eficiência coletiva, existentes ou emergentes no tecido empresarial, vocacionadas para o reforço substantivo dos níveis de competitividade, da promoção da inovação e estímulo à internacionalização da economia portuguesa, abrindo um novo ciclo de política pública de apoio à dinâmica de clusterização empresarial, são instrumentais para o cumprimento dos objetivos estratégicos da prioridade temática “Competitividade e Internacionalização do Portugal 2020”. Segundo o Regulamento de reconhecimento dos clusters de competitividade ([Despacho n.º 2909/2015](#)), um **Cluster de Competitividade** é uma “*plataforma agregadora de conhecimento e competências, constituída por parcerias e redes que integram empresas, associações empresariais, entidades públicas e instituições de suporte relevantes, nomeadamente entidades não empresariais do Sistema de Investigação e Inovação*”<sup>12</sup>. No momento atual das políticas públicas europeias, os Clusters são encarados como determinantes para políticas associadas ao apoio ao crescimento das PME e à implementação da especialização inteligente. O objetivo principal da emergência e evolução dos Clusters é torná-los um *driver* principal de benefícios das economias de aglomeração, fazendo com que estas plataformas colaborativas representem um sinónimo de transformação industrial e desenvolvimento das indústrias emergentes.

### 3.2. Desafios para a agenda de investigação e inovação

De acordo com a [Resolução do Conselho de Ministros n.º 23/2018](#), e tendo como uma das suas prioridades a promoção da inovação em todos os domínios, foi adotado um conjunto de medidas destinadas a dinamizar a inovação e a adoção de tecnologia pelas empresas e pela sociedade em geral, de entre as quais se destaca o «Programa Interface». **O Programa INTERFACE tem como objetivo a valorização dos produtos portugueses, através da inovação, do aumento da produtividade, da criação de valor e da incorporação de tecnologia nos processos produtivos das empresas nacionais. O INTERFACE vem neste sentido acelerar a transferência de tecnologia das universidades para as empresas, potenciar a certificação dos produtos, aumentar a competitividade da economia portuguesa e das empresas nos mercados nacional e internacional.**<sup>13</sup> As grandes iniciativas do Programa INTERFACE centram-se: no [Apoio aos Centros de Interface Tecnológico \(CIT\)](#), [Clusters de Competitividade](#), [Laboratórios Colaborativos](#), e aos [Clube de Fornecedores](#). O Laboratório Colaborativo tem como objetivo principal definir e implementar agendas de investigação e de inovação orientadas para a criação de valor económico e social, incluindo processos de internacionalização da capacidade científica e tecnológica nacional, em área(s) de intervenção relevante(s), e o estímulo ao emprego científico e a realização de atividades de I&D que potenciem o reforço de sinergias com instituições de ensino superior, designadamente no âmbito de programas de formação especializada, profissional ou avançada em estreita colaboração com parceiros sociais e económicos.

Assumindo o papel fundamental da inovação na promoção do crescimento e da competitividade da economia portuguesa, a [Resolução do Conselho de Ministros n.º 25/2018](#) aprovou as linhas orientadoras para uma **estratégia de inovação tecnológica e empresarial para Portugal**<sup>14</sup>, 2018-2030. Esta estratégia nacional visa gerar uma maior competitividade da economia portuguesa e a inserção das empresas em cadeias internacionais, nomeadamente através do aumento da despesa privada em Investigação e Desenvolvimento (I&D) e maior seletividade da despesa pública, a valorização do emprego, qualificado e científico, a intensificação da colaboração entre empresas, especialmente pequenas e médias empresas (PME), e infraestruturas científicas e tecnológicas, o incentivo à aplicação dos resultados de atividades de

<sup>11</sup> [http://www.gren.pt/np4/np4/?newsId=4042&fileName=RCM91\\_2013.pdf](http://www.gren.pt/np4/np4/?newsId=4042&fileName=RCM91_2013.pdf)

<sup>12</sup> <http://www.poci-competite2020.pt/regulamentacao/detalhe/Despacho-2909-2015>

<sup>13</sup> <https://dre.pt/home/-/dre/114832285/details/maximized>

<sup>14</sup> <https://dre.pt/home/-/dre/114832287/details/maximized>

I&D em novos produtos, processos, modelos organizacionais ou *marketing* e direcionando-os ao mercado, a promoção do empreendedorismo de base tecnológica e reforço de incentivos, e ainda a participação de empresas e redes em dinâmicas internacionais de forma a assegurar a disseminação dos resultados científicos e empresariais.

O **Programa Indústria 4.0**<sup>15</sup> é uma iniciativa do Governo português com o principal objetivo de acelerar a adoção da indústria 4.0 pelo tecido empresarial. Em Janeiro de 2017 foi anunciada uma estratégia nacional para Indústria 4.0, composta por [64 medidas](#), de iniciativa pública e privada. Estima-se que terão um impacto sobre mais de 50.000 empresas a operar em Portugal e, numa fase inicial, permitirão requalificar e formar em competências digitais mais de 20.000 trabalhadores. Estas 64 medidas estão agrupadas segundo seis eixos de atuação prioritária (1) **Capacitação dos Recursos Humanos** (2) **Cooperação tecnológica** (3) **StartUp i4.0** (4) **Financiamento e apoio ao investimento** (5) **Internacionalização** (6) **Adaptação legal e normativa**. No âmbito destas medidas está previsto serem injetados na economia até 4,5 mil milhões de euros de investimento nos próximos quatro anos. Muitas destas medidas estão já a ser implementadas e dinamizadas por vários *stakeholders* mas o desafio ainda não está ultrapassado. A **Estratégia para a Indústria 4.0** prevê a mobilização dos [FEEI](#) - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento, até 2,26 mil milhões de euros de incentivos, através do [Portugal 2020](#), para a consciencialização, adoção e massificação de tecnologias associadas ao conceito de Indústria 4.0, nos próximos 4 anos. Decorridos dois anos do Programa, é lançada a Fase II (2019) sobretudo uma fase de mobilização e demonstração. Nesta nova fase, elaborada com contributos de mais de 50 entidades, estima-se a **mobilização de investimentos públicos e privados no valor de 600 milhões de euros** nos dois anos seguintes. Existe já um ecossistema de entidades e programas que endereçam, pelo menos parcialmente, as recomendações inicialmente apresentadas. Com efeito, um levantamento preliminar, não exaustivo, e orientado à materialidade permite identificar cerca de 30 programas, promovidos por entidades governamentais, associações empresariais e outras entidades de interface, que deverão fazer parte da solução proposta, ao invés da apresentação de um conjunto de novas medidas estanques e sobrepostas às existentes.

O **Plano de Ação para a Economia Circular 2017-2020 – PAEC** (RCM 190-A/2017)<sup>16</sup>, lançado em dezembro de 2017, trata-se de um documento estratégico que identifica um conjunto das ações e instrumentos a serem introduzidas e trabalhadas ao nível nacional, num primeiro período, até 2020 para operacionalizar a transição para uma economia circular. Neste contexto, foram definidas sete ações macro que consolidam iniciativas em curso pelo Governo (ex. a indústria transformadora gasta 53 % do seu volume de negócios na aquisição de matérias-primas, pelo que reduzir estes gastos, mesmo que numa pequena percentagem, têm um impacto significativo), mas que também introduzem iniciativas complementares (i.e., tornar mais expeditas as metodologias de classificação de subprodutos, reduzir o consumo primário de plástico descartável de origem fóssil, etc.).

O **Plano Nacional para a Promoção das Biorrefinarias – PNPB** (RCM 163/2017)<sup>17</sup>, elaborado pelo LNEG em 2017, por solicitação do Ministério da Economia, visa reforçar a posição de Portugal relativamente à valorização das energias renováveis, nomeadamente através da utilização sustentável em cascata de diferentes tipos de biomassa endógena, tendo em vista uma utilização mais racional dos recursos renováveis para diversos setores económicos (e.g., agricultura, floresta, alimentação, **têxteis**, **bioplásticos**, etc.) e também a sua utilização para energia. De acordo com as previsões da OCDE para a bioeconomia em 2030<sup>18</sup>, a **biotecnologia** poderá contribuir com 2,7% do PIB, sendo esta a maior contribuição económica esperada na indústria e na produção primária. Em Portugal a biotecnologia é um setor prioritário, verificando-se que a sua capacidade de inovar e de promover a inovação em vários setores constitui um motor essencial para a competitividade da economia portuguesa. A Associação Portuguesa de Empresas de Bioindústrias (P-BIO), que envolve a maior parte das empresas ligadas ao setor da biotecnologia e das ciências da vida, publicou em dezembro de 2016 um **Relatório sobre a Caracterização do Setor da**

<sup>15</sup> <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/noticia?i=20170130-mecon-industria-4>

<sup>16</sup> <https://dre.pt/application/file/a/114336872>

<sup>17</sup> <https://dre.pt/application/file/a/114133785>

<sup>18</sup> <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.html>

**Biotecnologia em Portugal**<sup>19</sup>, através de indicadores económicos e financeiros, da caracterização do mercado de trabalho e do desempenho em termos de inovação.

Portugal, embora próximo da mediana em termos de competências digitais (posição 15 no índice DESI 2017, Índice de Economia e Sociedade Digital da Comissão Europeia), precisa de reforçar as competências básicas em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), especialmente em termos de capital humano e utilização da internet, áreas onde existe margem significativa para progressão. Estas premissas são igualmente verdadeiras para os especialistas nestas áreas, que têm a necessidade de aproveitar a crescente disponibilidade de empregos no mercado digital. Portanto, Portugal possui uma infraestrutura de formação assim como potencial humano capaz de ser (re)qualificado para responder à procura de oportunidades de emprego, típicas em sociedades modernas. No entanto, essa (re)qualificação é uma tarefa exigente que requer a mobilização e uma combinação de esforços de diferentes áreas da governação e sociedade civil. Para esse efeito, foi lançada em abril de 2017 a “**Iniciativa Nacional Competências Digitais e.2030, Portugal INCoDe.2030**”<sup>20</sup> tendo sido revista e reforçada em março de 2018, constituindo-se como um programa através da [Resolução de Conselho de Ministros n.º 26/2018](#).

E por fim, o relançamento das parcerias internacionais, com o foco na investigação e academia com empreendedorismo de base científica - “**Global S&T Partnerships Portugal (GoPortugal)**”<sup>21</sup>, a salientar:

- **Programa MIT-Portugal**, na área dos “sistemas de engenharia”, e tem particular ênfase nos complexos processos associados aos sistemas de energia, bioengenharia, transporte e produção industrial;
- **Programa Carnegie Mellon-Portugal**, na vanguarda da inovação em áreas-chave das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), promovendo investigação de fronteira, educação de pós-graduação de classe mundial e uma estreita colaboração com a indústria portuguesa. O Programa CMU-Portugal é uma plataforma educacional, de investigação e inovação destinada a desenvolver um ecossistema de elevada qualidade (de duplo grau) de pós-graduação académica e programa de investigação que promove o aparecimento de novos conceitos em tecnologias de informação e comunicação, com orientação para novos produtos e serviços para mercados em todo o mundo;
- O **Programa University of Texas in Austin-Portugal** lançou os Laboratórios Colaborativos (CoLab), que se focam na investigação colaborativa em apoios digitais interativos avançados e integrando computação avançada e matemática aplicada. A partir da 2ª fase de implementação terá também como foco tecnologias emergentes, nomeadamente nanotecnologia.

<sup>19</sup> <http://p-bio.org/pt/p-bio-report-1-portuguese-biotechnology-industry-firms-labour-market-innovation-indicators/>

<sup>20</sup> <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/114832288/details/maximized>

<sup>21</sup> [https://dre.pt/home/-/dre/114832286/details/maximized?serie=I&print\\_preview=print-preview&day=2018-03-08&date=2018-03-01](https://dre.pt/home/-/dre/114832286/details/maximized?serie=I&print_preview=print-preview&day=2018-03-08&date=2018-03-01)

## 4. Capítulo IV – Indústria e Manufatura - Temas de Investigação e Inovação

### A Indústria e Manufatura sustentável e as 7 transformações necessárias

Transformação 1: **Tecnologias de Produção de topo** – tira partido dos *equipamentos de produção de topo atuais*;

Transformação 2: **Engenharia end-to-end** - *optimiza o valor ao longo de toda a cadeia de valor e assegura processos robustos e de elevada qualidade*;



Transformação 3: **Fábrica Digital** - *Processos operacionais digitalizados e ligados à internet*;

Transformação 4: **Produção centrada no ser-humano** - *envolvimento dos trabalhadores no desenvolvimento futuro da empresa é crucial*;

Transformação 5: **Rede de Produção** - *eco-sistema de fornecedores e parceiros resulta em relações flexíveis de colaboração*;

*Figura 10 - Esquema adaptado de "Made Different – enabling Factories of the Future"<sup>22</sup>*

Transformação 6: **Produção Sustentável** - *sistemas de produção resilientes dependendo dos materiais disponíveis; redução drástica do consumo de energia*;

Transformação 7: **Sistemas de Produção Inteligentes** - sistemas ciberfísicos são blocos que fornecem a ligação entre os vários componentes da produção e tornam o sistema de produção inteligente.

As mesmas tecnologias irão facilitar a partilha de recursos entre empresas de muito menor dimensão e isso não deixará de ter um impacto significativo na indústria.

Teremos assim:

- Ao nível da fábrica, integração vertical e sistemas de produção digitalmente integrados;
- Integração digital ao longo de todos os segmentos da cadeia de valor da empresa (“end-to-end engineering”);
- Colaboração digital entre as empresas, através da integração horizontal entre redes de valor.

A estratégia chave da Indústria 4.0 é a inovação nos “smart systems” em que se incluem os produtos, os sistemas logísticos e as redes, tudo baseado na integração através da internet (internet das coisas) com

<sup>22</sup> <http://madedifferent.be/en/what-factory-future-40>

software de controlo para assegurar a sustentabilidade física e ambiental.

## Domínios e Agenda de Investigação

A agenda de investigação para a Indústria e Manufatura deverá fundamentar-se em diferentes vertentes. Essencialmente, as atividades a desenvolver nesta área devem ter como motivação preparar o País para acolher novos desafios que se sucederão a um ritmo que se espera cada vez mais rápido, e devem apoiar-se nas significativas competências existentes e identificar e desenvolver capacidades fundamentais. Foram identificados alguns temas cuja relevância é já crescente e se prevê que venham a ter impacto a médio prazo:

- Materiais Avançados;
- Processos tecnológicos industriais avançados;
- Gestão eficiente de recursos e processos na indústria;
- Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura e;
- Redes colaborativas e a produção industrial centrada no ser humano.

### 4.1. Materiais Avançados



Nos últimos anos têm vindo a intensificar-se os progressos na área de Materiais Avançados. Estes materiais caracterizam-se tipicamente por possuírem um valor acrescentado próprio (i.e., não são *commodities*). Serão pilar de uma Indústria tecnologicamente avançada e competitiva, com aplicações de largo espectro: Energia, Eletrónica, Transportes, Internet das Coisas, Segurança, Saúde Ciências da Vida, Alimentação, entre outras. Frequentemente apresentarão em simultâneas diferentes funcionalidades (materiais multifuncionais) e contribuirão para uma indústria eco sustentável. A **funcionalização de materiais e superfícies** estará no centro da criação de novos produtos com elevado valor acrescentado. A crescente vulgarização de nanotecnologias permitirá a síntese ou modificação de materiais com novas funcionalidades, nomeadamente com base em modelação (incluindo **multi-materiais** e materiais **multifase**). Os materiais de proveniência biológica (**biomateriais**) ou sintéticos de inspiração biológica (**biomiméticos**) também desempenharão um papel importante. A disponibilidade de materiais adequados à manufatura aditiva (com base em impressão 3D) será essencial para o estabelecimento de uma indústria capaz de produzir em massa bens personalizados. Outro tópico importante é a compatibilidade entre materiais (produção de materiais **compósitos híbridos**), relacionada também com os adesivos (soldadura a frio). O desenvolvimento de novas famílias de **materiais flexíveis** para diferentes aplicações (incluindo eletrónica) é outro tópico relevante. O ciclo de vida dos materiais é outro ponto a ter em consideração, de forma a minimizar o impacto ambiental e a permitir a integração numa economia circular. Outro desafio de relevância crescente é a procura de **materiais alternativos a materiais naturais raros ou de disponibilidade limitada** (por exemplo, lítio (Li) ou neodímio (Nd)).

#### 4.1.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030

O principal objetivo de Portugal neste horizonte temporal será a consolidação de uma base tecnológica em materiais avançados que sirva de suporte a uma Indústria inovadora e competitiva. Esta base deverá ter em conta as necessidades da Indústria, mas a flexibilidade para abordar eficazmente novos desafios.

Portugal possui competências elevadas, internacionalmente reconhecidas, ao nível da Investigação em Ciência e Engenharia de Materiais. Esta construiu-se ao longo das últimas décadas com base em Investigação e Desenvolvimento de qualidade. Contudo, grande parte da investigação nesta área em



Portugal desenvolveu-se sobretudo em direções que os cientistas têm identificado individualmente, na ausência de uma agenda estruturada. Embora este facto tenha tido como resultado a presença forte de temas emergentes durante esse período, também resultou num conjunto relativamente pouco integrado de pontos de excelência, com intervalos temáticos por vezes pouco explorados entre eles. Tem-se por outro lado observado recentemente alguma **falta de espaço para o aparecimento de novas áreas emergentes com interesse estratégico a mais longo prazo**. Um dos desafios que se colocam a Portugal no horizonte temporal de 2030 é a abordagem a estas questões. Outro desafio é a **identificação de um conjunto de tópicos, existentes ou emergentes, onde Portugal possa vir a ter espaço de desenvolvimento**. Note-se ainda que a **transferência das tecnologias do laboratório para a linha de produção** não é um ponto tradicionalmente forte, embora haja algumas experiências encorajadoras nesta área. Esta questão representa um importante desafio a superar onde esta agenda representa apenas o início.

#### **4.1.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos**

Os últimos anos trouxeram um novo conjunto de possibilidades. Entre estas podemos destacar a capacidade para modelar e sintetizar nanomateriais, biomateriais, novos compósitos, para diferentes aplicações. O aparecimento e disseminação de materiais de baixa dimensionalidade, incluindo os baseados em carbono (nanotubos, nanofibras, grafeno e similares), abre também novas possibilidades em termos de funcionalidade. O rápido desenvolvimento desta área veio salienta a necessidade de estabelecer padrões internacionais, seja de nomenclatura de novos materiais (recorde-se o trabalho desenvolvido na última década pela ISO e pela OCDE, mas também ICSU e CODATA neste âmbito), seja de regulamentação e procedimentos de segurança humana e ambiental. A nível nacional, é de referir a participação Portuguesa em iniciativas de âmbito Europeu em Investigação regulatória (por exemplo os projetos [NanoReg](#)). A existência de padrões e de regulamentação enquadram as atividades nesta área (incluindo os mercados) a nível europeu e mundial. A generalização da impressão 3D (manufatura aditiva) aplicada a uma gama cada vez mais alargada de materiais veio também apontar a necessidade de encontrar materiais compatíveis com estas tecnologias e adequados a um maior leque de aplicações. Esta é uma área emergente que deverá ter um forte e rápido desenvolvimento.

Sem ser exaustivo, assinalam-se algumas áreas que em Portugal atingem níveis internacionais na investigação em Materiais Avançados com potencial económico:

- Materiais para a microeletrónica (semicondutores, spintrónica, dielétricos, ferroicos, etc);
- Materiais para aplicações em energia (fotovoltaicos, pilhas de combustível, baterias);
- Materiais para “scaffolds” para aplicações em engenharias de tecidos;
- Síntese e funcionalização de nanomateriais para diferentes aplicações: nanopartículas (para aplicações em revestimentos, em medicina, etc.), grafeno e outros materiais baseados em carbono para diferentes aplicações;
- Filmes para tratamentos de superfícies para aplicações biomédicas, proteção contra corrosão, propriedades mecânicas, ambientais e industriais;
- Vários tipos de filmes finos (orgânicos e inorgânicos) para funcionalização ou proteção de materiais para aplicações mecânicas ou para aplicações em dispositivos (sobretudo sensores);
- Caracterização avançada de Materiais, nomeadamente à nanoescala.

Estas capacidades constituem uma base sólida para o desenvolvimento de novas potencialidades na Indústria a curto, médio ou longo prazo, mesmo em áreas ainda pouco exploradas que venham a ser consideradas estratégicas.

#### **4.1.3. As questões chave para uma agenda de investigação**

O desenvolvimento da agenda deve ter em atenção dois pontos: as necessidades da Indústria e dos mercados e as capacidades disponíveis (ou que possam vir a ser disponibilizadas) em Portugal. O

elevado nível de competência científica atingido em Materiais no País deve ser aproveitado criando mecanismos capazes de fomentar a transferência de conhecimento para a Indústria. Por outro lado, é importante manter o momento e a massa crítica atingidos nesta área, assegurando um investimento perene. Neste contexto, faz sentido explorar alguns aspetos que terão relevância crescente, nomeadamente **funcionalização de superfícies, multifuncionalidade e compatibilidade de materiais, segurança/saúde, reutilização e reciclagem/eco materiais** (área transversal, crucial do ponto de vista da economia circular e de baixo carbono), **substituição de materiais escassos** (por exemplo Li ou Nd), **modelação** (desenvolvimento de materiais com base em modelação/desenho e arquitetura de novos materiais para aplicações industriais/previsão de comportamento de propriedades do ponto de vista industrial), **nanoelectrónica/sensores**, escalabilidade (*scaling-up* - passagem do laboratório para a produção industrial).

Por outro lado, é de esperar que na próxima década novos temas venham a emergir, e é importante prever mecanismos flexíveis que permitam incorporação de temas de fronteira com importância estratégica no panorama nacional de investigação em Materiais.

Outro fator chave será a eficácia dos mecanismos de transferência de conhecimento para a indústria nomeadamente através de colaborações efetivas com os vários agentes económicos. **Sectores económicos tradicionais**, como as pescas, a agricultura, a pecuária, para além de sectores emergentes, poderão incorporar estas tecnologias, por exemplo, sob a forma de sensores que, combinados com processos de comunicação, poderiam revolucionar os modos de produção. Na saúde humana e animal, novos biomateriais, sensores, sistemas miniaturizados poderão ter um enorme impacto em dispositivos biomédicos e no desenvolvimento de novos fármacos. Nos têxteis, calçados, metalurgia leve, papel, indústria dos moldes e da construção, cerâmicos e vidros, há oportunidades significativas para a integração de novos materiais para aumento da funcionalidade ou diminuição da pegada ecológica.

Entre os temas de materiais avançados de que sectores tradicionais em Portugal apresentam potencial de aproveitamento, podem ainda dar-se como exemplos os cerâmicos inteligentes para aplicações eletrónicas, a funcionalização de fibras têxteis e papel, plataformas inteligentes e de baixo custo para diagnóstico, exploração e incorporação de materiais à nanoscala para aplicações em energia.

A **Aeronáutica** é outro sector de relevância crescente em Portugal que poderá integrar os desenvolvimentos em Materiais Avançados. Em Portugal tem-se ainda verificado o desenvolvimento de algumas tecnologias avançadas relevantes fortemente dependente de materiais com características especiais, de que um exemplo é a micro e nanoelectrónica (como a spintrónica, que está na base de novas gerações de dispositivos eletrónicos).

Por outro lado, há que potenciar as aplicações de **manufatura aditiva**, não como apenas uma tecnologia de prototipagem rápida, mas uma tecnologia de fabrico num novo contexto de produção individualizada em larga escala. É atualmente considerada como uma tecnologia disruptiva, no entanto o seu grau de desenvolvimento não é o mesmo para todas as famílias de materiais. Por razões que se prendem com as características dos materiais a manufatura aditiva desenvolveu-se primeiro na área dos polímeros, sendo já correntemente utilizada para metais. A manufatura aditiva de materiais cerâmicos, ainda pouco desenvolvida, deverá também ser relevante no contexto nacional devido à importância da **indústria cerâmica** na economia Portuguesa.

Outra área de enorme potencial para a utilização de manufatura aditiva é a **impressão de biomateriais e de tecidos**. Já existem aplicações, embora numa fase inicial, nesta área, mas o potencial é imenso e em particular o investimento na investigação em materiais para aplicações nesta área pode revelar-se de importância estratégica num mercado dimensão futura é ainda difícil de alcançar (a consultora Smithers Pira estima cerca de 45000 M€ em 2027). Esta tecnologia poderá

abrir uma janela de oportunidade capaz de potenciar o impacto da forte base de investigação existente em biomateriais e tecidos. Note-se a importância do estabelecimento de parcerias nacionais e europeias (por exemplo envolvendo atores na área dos materiais e do equipamento), que poderão ser um motor para o desenvolvimento.

#### **4.1.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro**

O advento da sociedade digital permite uma deslocalização do conhecimento e de uma parte importante das capacidades. Por outro lado, as vias de comunicação são rápidas e eficazes. Esta é uma oportunidade que deve ser aproveitada por um País de média dimensão longe do centro da Europa, mas com competências de elevado nível, como é o caso de Portugal, uma vez que poderá permitir como nunca a participação em diferentes cadeias de valor com alcance global. Para este objetivo é fundamental a participação em associações sectoriais, plataformas tecnológicas, etc. de âmbito Europeu ou Mundial, de forma a impulsionar a inclusão em iniciativas de âmbito Europeu. Será ainda importante explorar outras parcerias em que Portugal esteja bem colocado (por exemplo CPLP, Índia, China, entre outros).

Por outro lado, é importante a manutenção das competências em investigação a um nível competitivo. É ainda essencial implementar mecanismos que fomentem ativamente parcerias entre os Laboratórios de Investigação e a Indústria, no que podem ter um papel crucial as políticas públicas. Por outro lado, a Indústria deve demonstrar que percebe as vantagens em integrar estas competências. Uma forma de transferir estas competências poderá ser a contratação pela Indústria de profissionais formados nos Laboratórios (incluindo Mestrados e Doutorados) ou através da participação ativa na formação.

Assim, de forma a potenciar e projetar a atividade de Investigação em Materiais avançados em Portugal é relevante criar massa crítica estimulando sinergias entre as capacidades significativas nesta área, nomeadamente promovendo as ligações em rede que permitam o acesso dos diversos atores às competências disponíveis (as técnicas de caracterização são um exemplo evidente, tal será o caso da infraestrutura de manufatura aditiva). A manutenção da atualidade do parque instrumental e de equipamento, também de forma a incluir novas técnicas entretanto disponíveis, é outro fator crítico.

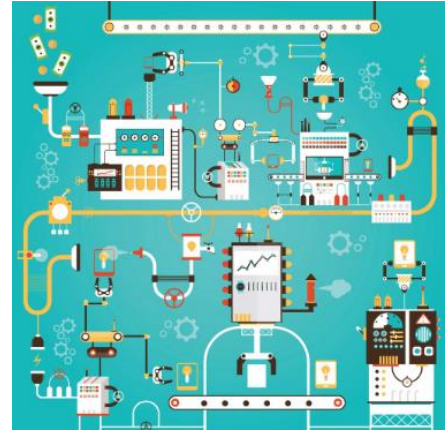
Um fator condicionante, em muitos casos, para o aproveitamento de materiais avançados para aplicações industriais é a capacidade de integrar estes materiais em linhas de produção ou tecnologias já existentes. De facto, a compatibilidade funcional destes materiais ou dispositivos com os produtos e processos é um fator crítico. Poderiam ser citados vários exemplos: muitos dispositivos spintrónicos não resistem a processos tradicionais de fabricação em microeletrónica, ou até as características elétricas apropriadas são difíceis de obter; o mesmo se poderia dizer da eletrónica com cerâmicos ou polímeros ou papel; poderiam, ainda, e entre outros, ser mencionada a integração de nanomateriais numa matriz. Uma ligação forte com o sector industrial relevante desde uma fase inicial do processo de investigação pode ser um fator importante para que este conduza a materiais com potencial económico.

A investigação para os processos de regulação é ainda outra atividade importante, com o objetivo de fundamentar a produção de legislação. A introdução de novas tecnologias, processos e produtos a um ritmo cada vez mais acelerado exige uma capacidade acrescida de produzir regulamentação. Experiência passada com alguns nanomateriais (revestimentos antibacterianos com nanopartículas de prata, por exemplo) mostra que a ausência de uma regulamentação fiável pode ser prejudicial ao sucesso de novas tecnologias ou produtos. Uma regulamentação atempada e baseada em informação científica é fundamental para obter a confiança do consumidor. É crucial que esta atividade se articule com a realizada a nível Europeu, nomeadamente através da participação ativa em redes ou outras iniciativas colaborativas, tal como tem vindo já a acontecer. A participação *ab initio* nestas atividades poderá trazer benefícios no desenvolvimento de novos materiais.

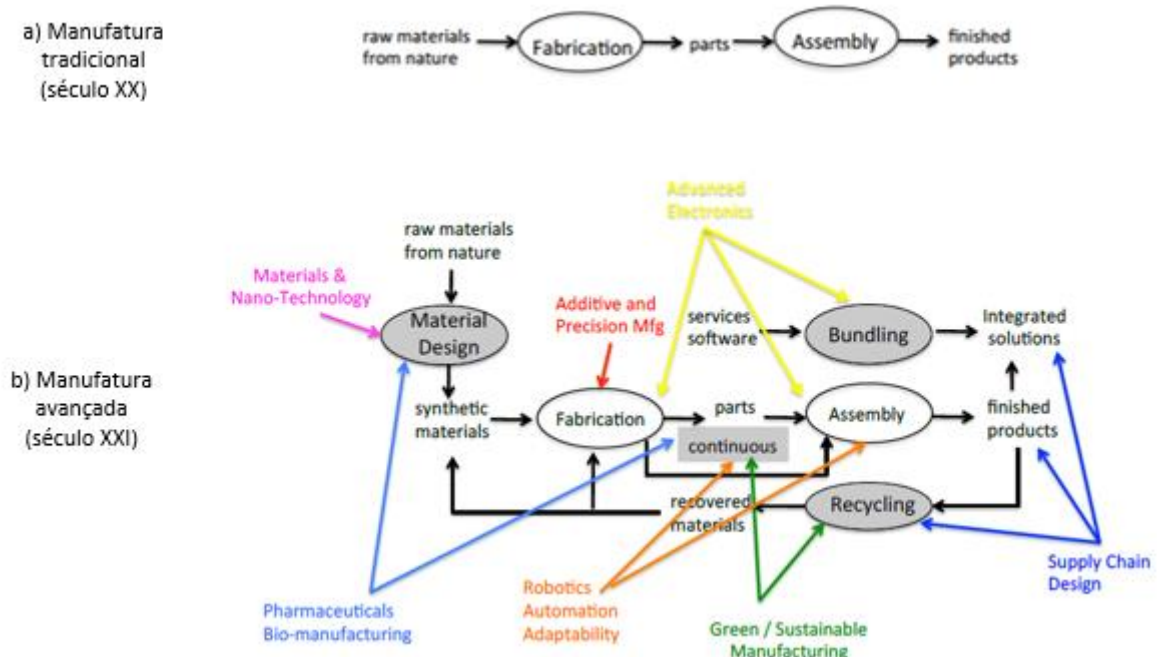
## 4.2. Processos Tecnológicos Industriais Avançados

### 4.2.1. Desafios e Objetivos para Portugal até 2030

A indústria é reconhecidamente uma mais-valia para a Europa e para Portugal, sendo responsável pela prosperidade, criação de emprego qualificado e produção de bens transacionáveis nos países e regiões. Esta realidade é bem patente em Portugal, onde sectores industriais como o automóvel, energético, aeronáutico e aeroespacial, químico, farmacêutico, agroalimentar, metalomecânico, etc., assumem uma importância cada vez maior na economia do país. Contudo, a importância futura da indústria dependerá em larga medida da capacidade de Portugal de **desenvolver novas tecnologias para novos produtos (com inteligência e conhecimento incorporados) e novos processos de fabrico**, baseados num conhecimento intensivo, que sejam flexíveis, eficientes e ambientalmente sustentáveis, e que recorram a uma utilização mínima de recursos. Perspetiva-se assim que num período de cerca de 10 anos o futuro da realidade industrial nacional seja significativamente influenciado pela evolução dos mais relevantes fatores de mudança atuais, dos quais se destacam a **infraestrutura digital**, a **globalização das cadeias de fornecimento** e a **procura de processos mais limpos e sustentáveis**.



A acompanhar as profundas alterações nos processos industriais assiste-se igualmente a uma mudança no modelo de fabricação onde o tradicional [a]) tem vindo a ser substituído por um modelo de fabricação avançada [b]), como o ilustrado na **figura 11**. Neste [b]), 7 categorias de tecnologias de manufatura estão apresentadas, mostrando o seu impacto no modelo de manufatura avançada.



**Figura 11-** Manufatura avançada do século XXI como uma expansão da manufatura tradicional do século XX, onde os blocos sombreados representam as quatro maiores tendências evolutivas em termos de operações.<sup>23</sup>

Tendo por base um panorama industrial diversificado, como o pretendido na presente análise, os grandes **objetivos** que se perspetivam **para 2030**, a nível a nível da produção industrial, são os seguintes:

<sup>23</sup> Imagem adaptada de: Olivier de Weck, Darci Reed, Sanjai Sarma e Martin Schmidt - Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovation: MIT DOI:10.7551/mitpress/9780262019927.003.0009; May 2014

- produção em escala de produtos individualizados e customizados em ambientes altamente flexíveis;
- criação de uma base produtiva mais distribuída a nível local e global, com manufatura de proximidade (do cliente) e uma maior diversidade de fábricas do futuro;
- cadeias de valor de manufatura “digitais” com conexões entre clientes, fabricantes e fornecedores, aumentando a velocidade e eficiência da manufatura e agilizando os processos de monitorização de funcionamento e manutenção;
- sistemas de manufatura mais flexíveis e com melhores desempenhos que permitirão produtos com maior qualidade e menor custo;
- melhoria da customização de produtos e serviços;
- maior liberdade para o design incluindo inserção de componentes mais inteligentes.

Com base nos objetivos enunciados, os **principais desafios para 2030** que se perspetivam são:

- aumento de inteligência, flexibilidade e adaptabilidade dos processos tecnológicos;
- aumento da sensorização, monitorização e controlo dos processos e *data analytics*;
- hibridização de processos de produção, com eventual desenvolvimento/*upgrade* de equipamentos e ferramentas adaptáveis;
- processos multi-escala (i.e., integrando processos de manufatura macro, meso, micro e nano) incluindo necessidades de construção de novos equipamentos (sistemas bio-inspirados), e os produtos com SOCs - *Systems On a Chip* - customizáveis;
- fabricação aditiva e de precisão; prototipagem 3D e 4D e simulação integrada;
- Tecnologias de processamento sem contacto: processos de adição, união, remoção, consolidação, texturização e/ou funcionalização de várias formas/combinções de material (e.g., pós, laminados, superfícies, estruturas compósitas) baseados em laser (i.e., fotónica), ultrassons, micro-ondas, campos elétricos e/ou magnéticos, entre outras tecnologias sem contacto mecânico.
- integração de métodos para a inspeção e controlo de qualidade dos produtos; incluindo a via dos Ensaios Não Destrutivos (END), para a deteção de defeitos superficiais e em volume, numa abordagem *online* ou *offline*;
- processos avançados para a ligação, conformação e maquinagem de novos materiais e estruturas multimaterial;
- produção orientada para a eficiência energética e sustentabilidade ambiental, com elevados requisitos de qualidade e de segurança.

#### **4.2.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos 10 anos**

A investigação científica aplicada em Portugal tem sido realizada nos últimos 10 anos com o objetivo de aumentar o desenvolvimento tecnológico do país, bem como a competitividade internacional do tecido industrial português, através da promoção e exploração do potencial de novos conhecimentos gerados em múltiplos domínios científicos e tecnológicos. Esta ação tem-se centrado fundamentalmente nas denominadas KET (*Key Enabling Technologies*). Este conceito permite a identificação e abordagem estruturada a um conjunto de tecnologias potenciadoras do desenvolvimento industrial (Indústria 4.0). O alinhamento das prioridades de investigação nacionais com as europeias, bem como a crescente participação nacional em consórcios europeus, tem permitido a construção de uma base sólida de conhecimento ao nível do estado da arte e com um reconhecido grau de excelência científica.

A análise de vários estudos internacionais sobre as tecnologias mais relevantes no âmbito da indústria e manufatura nos próximos anos (10) é apresentada na **tabela 2**. É evidente a coincidência na maioria dos casos, embora com agrupamentos temáticos diferentes.

*Tabela 2 - Tecnologias-chave segundo estudos selecionados*

EUA (IDA,2012)	Comissão Europeia (HLEG-KETS,2011)	Reino unido (GO-SCIENCE, 2010)	Austrália (DIISRTE,2012)	UNIDO (UNIDO,2013)
Materiais avançados	Materiais avançados	Materiais Nanotecnologia	Nanotecnologia	Materiais avançados
	Nanotecnologia	Energia e tecnologias de baixo carbono		Nanotecnologia Tecnologias ambientais e energia Manufatura aditiva
Fabricação aditiva				
Semicondutores	Micro e nanoeletrónica			Microtecnologia
Biomanufatura	Biotecnologia industrial	Biotecnologia e farmácia	Biologia sintética /Biotecnologia	Biotecnologia
	Fotónica Sistemas de manufatura avançada			Fotónica TICs em sistemas de manufatura
		Tecnologias digitais e redes		

As principais áreas de intervenção e desenvolvimentos nacionais registados nos últimos 10 anos em cada uma das KETs são:

- **Micro e Nanoeletrónica:** nestas tecnologias salientam-se a miniaturização das tecnologias correntes e a emergência de tecnologias alternativas, como as baseadas em nanoestruturas de carbono ou a spintrónica. A integração de diferentes tecnologias em sistemas ciber-físicos tem um grande potencial de impacto no desenvolvimento de processos industriais;
- **Nanotecnologias:** esta área teve um crescimento notável em Portugal nos últimos 10 anos, com importante investimento em infraestruturas e o aparecimento de várias empresas produtoras, prestadoras de serviços e/ou utilizadoras de nanotecnologia. É ainda de salientar a capacidade de caracterização entretanto desenvolvida. Algumas áreas com atividade relevante são a nanomedicina (nano-libertação de fármacos, dispositivos de diagnóstico, terapêutica), tecnologias alimentar/ambiental (embalagem de alimentos e administração de pesticidas, herbicidas e fertilizantes), NEMS (*Nanoelectromechanical systems*)/MEMS (*Microelectromechanical systems*)(por exemplo sensores, atuadores, nanopilhas de combustível), materiais multifuncionais (dopagem de fibras ou polímeros, funcionalização de superfícies);
- **Biotecnologia industrial:** os desenvolvimentos científicos dos últimos anos nas áreas da Biologia (molecular, celular, sintética) e das (bio)engenharias (engenharia metabólica, molecular, de bioprocessos, de biosistemas, bioinformática) têm contribuído de forma significativa para aumentar a importância dos processos de base biológica na manufatura de produtos com aplicação industrial e farmacêutica. Em particular, a manipulação molecular racional e dirigida de biomoléculas, células e organismos, constitui hoje a base de processos de produção de:
  - i) pequenas moléculas (e.g. etanol, ácidos carboxílicos) utilizáveis como produtos per si ou como precursores de inúmeros compostos e materiais (e.g. bioplásticos) de importância industrial;
  - ii) biomoléculas (e.g. enzimas) e microorganismos (e.g. leveduras) com aplicação em sectores industriais diversos (agro-alimentar, têxtil, pasta de papel, tratamento de efluentes) e;
  - iii) biofármacos utilizáveis em medicina preventiva (e.g. vacinas), terapêutica (e.g. anticorpos monoclonais) e regenerativa (e.g. células e tecidos).
- **Materiais Avançados:** os principais desenvolvimentos realizados no domínio desta KET são descritos em detalhe no sub-tema 4.1;
- **Fotónica:** A fotónica já está presente em quase tudo o que nos rodeia desde as comunicações à saúde, passando pelo processamento de materiais em produção, iluminação e sistemas fotovoltaicos e ainda produtos do dia-a-dia como leitores de DVDs e telemóveis. A investigação e desenvolvimento da fotónica na Europa têm se centrado nos últimos dez anos na fabricação assistida por laser, na fotónica médica, na sensorização e na ótica/iluminação. Na indústria de manufatura a fotónica está presente nas tecnologias laser (importantes para a produção em massa de grandes dimensões). É de realçar a importância da fonte de energia laser na fabricação aditiva

de metal, agora em crescente difusão industrial. A fotónica tem também sido muito aplicada no controlo de qualidade industrial via inspeção ótica não destrutiva usando distintos comprimentos de onda, desde o infravermelho até ao ultravioleta.

- ***Tecnologias avançadas de fabrico:*** Os principais desenvolvimentos realizados neste domínio envolvem fabrico aditivo (nomeadamente a nível de novos materiais processados, equipamentos de processo, melhor controlo do processo fabrico à microescala), aumento de inteligência dos equipamentos e sistemas (permitindo o desenvolvimento de estratégias de gestão de recursos e de manutenção preditiva), otimização dos processos industriais (com integração de processos e tecnologias de medição e inspeção), desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico para novos materiais podendo ser adaptadas ao tipo de estruturas a conformar (e.g., RTM, termoconformação, etc.) e não dependentes de ferramenta (e.g., estampagem incremental de ponto único e *robocasting*).

#### 4.2.3. **As questões-chave para uma Agenda de Investigação**

A agenda de Investigação deve refletir os **temas fundamentais** para atingir os objetivos acima definidos para 2030. Assim, as principais questões de investigação a desenvolver, para os processos de fabrico avançados são os seguintes:

- Desenvolvimento de **novos sistemas para fabrico aditivo**;
- **Processos multi-tecnologias** (hibridização); **desenvolvimento/adaptação de equipamentos e sistemas**;
- **Processos multi-escala:** novos processos para a fabricação a diferentes escalas (nano-micro-meso-macro);
- **Tecnologias de modelação** (e.g., conformação e maquinação) avançadas (incluindo a manufatura perto da forma final (*near-net-shape*);
- Novos processos e **tecnologias de ligação de materiais**;
- Ferramentas de **simulação multi-processo**, com capacidade de trabalhar com conceitos multimaterial (e.g., simulação de Fabrico Aditivo);
- **Biomanufatura em contínuo**.

Alguns destes temas estão directa ou indirectamente ligados às tecnologias de fabricação aditivas, sendo por isso apropriado que seja referido com algum detalhe

Esta aposta deverá oferecer a possibilidade de processar praticamente qualquer design, material e/ou estrutura, bem como integrar mais inteligência e/ou multifuncionalidade de modo a dar resposta às exigências customizadas do cliente/aplicação.

Um dos principais constrangimentos atuais das tecnologias de impressão 3D centra-se no **custo** ainda avultado **dos equipamentos**, no custo e **escassez de matéria-prima certificada e/ou adaptada ao processamento aditivo** e na **falta de metodologias de certificação da qualidade dos produtos**.

Assim, para tornar esta filosofia de produção economicamente sustentável e tecnologicamente competitiva, é premente investir esforço de I&D na **criação de meta-materiais e modificação/cominação de materiais visando a sua compatibilização com os equipamentos/técnicas de fabrico aditivo**, bem como investigar **soluções e metodologias de processamento e/ou sistemas para melhorar os fenómenos de transferência e adesão/interface entre camadas** que contribuem para um melhor desempenho funcional e qualidade da peça final.

Outra possibilidade é a **funcionalização dos materiais utilizados no fabrico aditivo** para aplicações especiais, aumentando suas possibilidades de utilização. O desenvolvimento de sistemas que permitem uma melhoria local da precisão de deposição ou modificação das propriedades do mesmo material, também são áreas importantes de investigação. Um outro importante aspeto relativo aos processos de manufatura aditiva prende-se com a **medição, monitorização e controlo dos processos e produtos**. O desenvolvimento de sensores e métodos de medição e monitorização constituem prioridades de investigação assim como o desenvolvimento de técnicas de controlo não destrutivo

em tempo real para avaliação da qualidade dos produtos.

#### 4.2.4. Fatores Críticos para o Desenvolvimento

Portugal apesar de ser um pequeno-médio país tem seguido uma política científica que fomenta a dispersão quer a nível das disciplinas de investigação quer de recursos, materiais e humanos. Como consequência tornou-se mais difícil criar massa crítica em áreas estratégicas para o país. Contudo, nos últimos anos tem-se observado uma reorientação nesta tendência com a formação de clusters, que muito tem ajudado a uma definição mais estratégica dos principais interesses do país assim como a uma aproximação entre o meio académico e empresarial, indispensável à criação de uma base industrial de maior valor acrescentado.

Considera-se, pois, como fatores críticos para o desenvolvimento a **seleção estratégica de áreas científicas**, a formação de recursos nessas áreas a vários níveis, o investimento prioritário nas mesmas seja em **formação**, em **infraestruturas** e em **equipamentos**. A seleção do que e onde se aposta é fundamental a fim de otimizar recursos e maximizar resultados e deve obedecer a diversos critérios como os interesses estratégicos do país e as grandes linhas de desenvolvimento internacional.

A Indústria transformadora ainda apresenta um défice em termos de intensidade tecnológica. A ciência como base para o crescimento das atividades económicas intensivas em tecnologia, deve reforçar o seu contributo nesta área, de forma a colmatar esta deficiência.

**Em termos de formação** as áreas de engenharia (em particular áreas como eletrónicas, mecânica, informática) tiveram um *boom* de procura, o que significa uma disponibilidade de recursos humanos, capazes de alavancar este potencial de conhecimento. Há, no entanto, o risco da “fuga” destes recursos para o resto da Europa. Deverá ser feito um esforço para reter estes ativos importantes, que poderão ter um papel ativo na utilização e exploração do Conhecimento.

##### **Reforçar a interação entre o Sistema de investigação e inovação:**

- Prever mix de instrumentos (ex.: instituições de I&D /empresas);
- Reforçar financiamento de instituições de I&D com função de atração do tecido produtivo;
- Fomentar a contratação de serviços de I&D pelas empresas;
- Fomentar a participação de empresas em consórcios e redes internacionais;
- Fomentar a divulgação de publicações académicas (como importantes fontes de informação para a inovação) junto das empresas;
- Reforçar o apoio a Empresas com forte aposta em I&D;
- Reforçar e promover a interação entre empresas.

##### **Reforçar Produção científica e tecnológica**

- Fomentar a produção científica nacional, na área da manufatura (é ainda uma das áreas com menor crescimento);
- Aumentar o reconhecimento da produção científica nacional, pela indústria;
- Reforçar políticas de propriedade Industrial, apostando em recursos humanos com experiência e competências adequadas que possam prestar o melhor serviço possível.

**Promover e acelerar a difusão das tecnologias e a sua adoção** através de mecanismos coordenados, envolvendo as empresas e as entidades do Sistema Científico e Tecnológico.

São considerados fatores críticos e condicionantes a este progresso aspetos de foro ético (no que diz respeito à utilização e manipulação de informação genética) e regulatório (essencialmente nos setores da cosmética, farmacêutica e alimentar).

O tema da perceção pública é também uma questão sensível que deve ser trabalhada de modo a acelerar a difusão industrial das técnicas de fabrico aditivo, bem como aumentar a aceitação e consumo em massa



de produtos biológicos geneticamente modificados e/ou biotecnologicamente alterados.

### 4.3. Gestão Eficiente dos Recursos e Processos



A gestão eficiente de recursos e processos tem vindo a adquirir relevância nos últimos anos, já que a consciência da disponibilidade de recursos, matérias primas ou energia, se tem vindo a impor, para além da maior eficiência da produção com os respetivos ganhos económicos. Desta forma, têm vindo a ser desenvolvidas diferentes abordagens complementares neste tema.

#### 4.3.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Os principais desafios e objetivos para Portugal, associados à **Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria**, são:

- Gestão Circular e Integrada de Recursos;
- Otimização de Recursos e Processos para uma maior Eficiência;
- Gestão Eficiente de Ativos;
- Implementação de soluções descentralizadas do tipo *Blockchain*;
- Integração horizontal e vertical da cadeia de valor e nas cadeias de abastecimento.

A este conjunto de temas estão associadas diversas áreas científicas e tecnológicas que consubstanciam claramente oportunidades para o país, nos campos científico, social ou económico, e que estão, alguns deles, associados a orientações definidas pela Comissão Europeia, através dos seus programas de investigação e inovação: Eficiência Energética, Tecnologias com Baixo Teor de Carbono, Gestão de Água e de Resíduos, Eficiência de Recursos e de Matérias-Primas, Economia Circular, Fábricas do Futuro (limpas, de elevado rendimento, amigas do ambiente e socialmente sustentáveis) e Processos Industriais Sustentáveis.

#### 4.3.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos 10 anos

Os principais desenvolvimentos científicos, nos últimos 10 anos, são apresentados de forma global para os desafios identificados para este subtema.

- Fontes não convencionais de Energia (LTP – plasma de baixa temperatura; microondas);
- Sistemas avançados de integração energética;
- Matérias-primas renováveis;
- Bio-refinarias (combustíveis, químicos e materiais a partir da biomassa);
- Utilização de resíduos como matéria-prima (*Waste-to-Resource*);
- Utilização de CO<sub>2</sub> e hidrogénio renovável na produção de combustíveis (Gás Natural Sintético e DME);
- Produtos de largo consumo (*commodities*) a partir do CO<sub>2</sub> (Ureia, Policarbonatos, Metanol);
- Integração de modelos de otimização para aumento da eficiência energética;
- Desenvolvimento de modelos integrados para gestão das cadeias de valor sustentáveis, inteligentes e colaborativas.

#### 4.3.3. As questões-chave para uma agenda de investigação

As questões-chave para uma agenda de investigação estão muito em linha com as prioridades europeias referentes a Produção e Processos Avançados (produção flexível, criação de ambientes de trabalho estimulantes, fomento de ambientes inteligentes e de processos limpo; Energia Eficiente, segura e limpa (eficiência energética; tecnologias com baixo teor de carbono; cidades e comunidades inteligentes, combustíveis alternativos e fontes móveis de energia); Economia Circular (sustentabilidade económica, ambiental e social, reutilização de resíduos, redução do consumo de

água, utilização de biomassa) e Ação climática, ambiente, eficiência na gestão de recursos e matérias-primas (segurança de matérias-primas, integridade, resiliência e sustentabilidade ambiental, com o objetivo de alcançar um suprimento sustentável de recursos e matérias-primas).

Globalmente, para uma agenda nacional, os temas identificados e organizados em Linhas de Ação, são:

- **Gestão circular e integrada de recursos**

Esta linha pretende estimular a Investigação relativa à reutilização e valorização dos recursos (energia, água, matérias-primas e resíduos) nos processos industriais (transição de uma economia linear para uma gestão circular e integrada de recursos), nos quais se destacam:

- **Reaproveitamento de matérias-primas e materiais**, resultantes de desperdícios do próprio processo industrial ou de outros;
- **Sistemas altamente eficientes de geração, armazenamento e reaproveitamento de energia gerada**, como a integração de produção local de energia renovável com avançados sistemas de produção e distribuição;
- Utilização de **matérias-primas renováveis** (biomassa, lixo, CO<sub>2</sub> proveniente de fontes industriais); recuperação de energia e utilização de carbono; reciclagem química/novos processos catalíticos; reciclagem mecânica; reutilização dos produtos;
- Novos e melhorados ciclos processuais para **reaproveitamento de água** ou novos e melhorados processos/produtos que permitam a minimização de utilização de água no seu processo de fabrico;
- **Ferramentas de gestão de apoio à decisão** para a **gestão de sistemas logísticos** de recolha e reutilização de produtos em fim de vida, permitindo reduzir custos e impactes ambientais, aumentando a eficiência dos recursos;
- Desenvolvimento de metodologias e modelos para o projeto, planeamento e operação de cadeias de abastecimento em ciclo fechado que garantam a gestão circular e integrada de recursos;
- Desenvolvimento de **ferramentas de apoio à decisão na avaliação de sistemas integrados de economia circular** segundo os princípios de sustentabilidade (económicos, ambientais e sociais);
- **Alinhar e fazer evoluir a legislação ambiental** para suportar o aparecimento de novos recursos que resultam da reutilização de outros, eliminando com eficácia restrições ao aproveitamento de resíduos e subprodutos, na aplicação ampla de circularidade quer no fluxo de materiais, quer de energia.

- **Otimização de recursos e processos e ativos para uma maior eficiência**

Esta linha pretende estimular a I+i relativa a minimizar o consumo de recursos nos próprios processos industriais destacando-se:

- Novas e melhoradas ferramentas de gestão de apoio à decisão (*offline* ou em tempo real) da eficiência de recursos e nível de eco-eficiência de sistemas produtivos, capazes de integrar e aproveitar a elevada disponibilidade de dados (sensores, sistemas legados, *middlewares*, entre outros) numa realidade de plena digitalização dos sistemas produtivos e da gestão da informação, incluindo a recomendação automática de ações de melhoria pro-sustentabilidade com recurso à aplicação de Inteligência Artificial;
- Planeamento adequado dos processos industriais e de utilização de recursos, pela utilização de **ferramentas de modelação, simulação, otimização** ou outras;
- **Gestão da interface humano-computador** no planeamento e escalonamento dos processos industriais;
- Otimização dos processos industriais e da utilização de recursos pelo desenvolvimento e implementação de ferramentas de gestão, sistemas de monitorização e de controlo autónomo e inteligentes, isto é, com a aplicação de algoritmos/programas de Inteligência Artificial, possibilidade de manutenção à distância sem paragem do processo, integração

plena de **sistemas de manutenção preditiva**;

- Conceção de sistemas de medição que permitam a tomada de decisão em tempo real. Desenvolvimento e conceção de processos em ambientes de grande variabilidade assentes na normalização e padronização de geometrias ou sistemas base.
- Ferramentas de análise holística do sistema/rede de recursos, que permitam avaliar o risco e impacto de falhas no sistema como um todo, a partir do estado de cada recurso individual;
- Sistemas de previsão da condição dos equipamentos utilizando dados *on-line* da monitorização e dados históricos das falhas, ações de manutenção e utilização;
- Sistemas de apoio à decisão para integração do planeamento das operações com as estratégias de manutenção;
- Sistemas de apoio/transferência de conhecimento/sistemas de prototipagem/equipamento para desenvolvimento a pequena escala que facilitem processo de decisão de mudança de tecnologia tradicional para outra mais eficiente;
- Ferramentas que permitam avaliar possibilidade de utilizar equipamento de empresas externas – rentabilização de recursos/investimentos com a **partilha de ativos** (equipamentos ou matérias-primas excedentes), alargando a aplicação de **abordagens de simbiose industrial** multi - sectoriais ou na cadeia de valor inter - empresas;
- Investigação de **soluções de realidade aumentada/ virtual no apoio à manutenção**;
- **Implementação de soluções descentralizadas do tipo *blockchain*,**

Esta linha de investigação deverá avaliar e ajudar a concretizar o potencial de novas tecnologias emergentes, como a *blockchain*, para alcançar ganhos de eficiência na gestão de recursos e de processos. A *blockchain* foi apontada como uma tecnologia revolucionária, que poderá alterar substancialmente modelos de negócio e processos subjacentes. É necessário, contudo, explicitar como pode ser concretizado todo o seu potencial, pelo que diversas questões de I&I deverão por isso ser alvo de exploração, tais como:

- Investigar e desenvolver áreas de aplicação que materializem o potencial de utilização já identificado em domínios como o sector bancário e financeiro, cadeias de abastecimento, comércio online ou registo e notariado;
- Desenvolver e prototipar provas de conceito que ilustrem como é que a *blockchain* ou os *smart contracts* podem resolver problemas concretos de gestão e organização, e como devem estas soluções ser desenhadas tendo em conta as especificidades de cada área de aplicação;
- Analisar o impacto económico, social e ambiental de soluções do tipo *blockchain*, tendo em conta o seu contributo para aumentar a transparência reduzir tempo e custo (pela desintermediação), melhorar a robustez, reduzir a assimetria de informação, facilitar a colaboração, eliminar barreiras à entrada, etc.
- **Integração horizontal e vertical da cadeia de valor e nas cadeias de abastecimento**

Esta linha pretende estimular a Investigação relativa à construção de redes colaborativas, desenvolvimento de processos de *servitização* e customização em massa que permitam influenciar e controlar os recursos despendidos por influência de prescritores, clientes ou fornecedores. Devem-se realçar os seguintes:

- Compreender a dinâmica das redes colaborativas e cadeias de fornecimento orientadas a ambientes de personalização em massa;
- Desenvolver quadros de referência e instrumentos de apoio à decisão alinhados com o ciclo de vida da cadeia de valor;
- Desenvolver abordagens híbridas e multidimensionais na avaliação do desempenho de cadeias de valor complexas;
- Desenvolvimento de novos modelos de negócios, redefinição da relação com os clientes (ex. *product as a service*);

- Desenvolvimento de sistemas tecnológicos e de informação que suportem ciclos de vida bem como para fazer face à crescente segmentação (customização em massa);
- Desenvolvimento de sistemas para o apoio a uma gestão eficiente e eficaz de cadeias de abastecimento sustentáveis, considerando indicadores de desempenho económicos, ambientais e sociais.
- **Análítica industrial para a eficiência de recursos e processos (*Industrial Analytics*)**

Esta linha pretende estimular a I+I relativa a modelação, simulação, controlo e previsão nos processos industriais, mas com a tónica principal na eficiência dos recursos (energia, água, materiais e logísticos) com especial destaque para:

- Desenvolvimento de sistemas de tratamento de dados em tempo real (monitorização, controlo, atuação para resolução de problema em tempo real) e de avaliação de desempenho), incluindo a aplicação de abordagens de inteligência artificial de suporte avançado à tomada de decisão;
- Desenvolvimento de sistemas que permitam de forma rápida e eficiente o tratamento de grande quantidade de dados (prever a realidade de situações de *Big Data*);
- Desenvolvimento de sistemas que permitam atuar de forma rápida e eficiente (ex: remotamente) em função dos alertas gerados – evitando desperdícios de recursos (ex: tempo, energia, matérias-primas);
- Desenvolvimento de sistemas descentralizados que, rápida e autonomamente, tomem decisões no sentido de mitigar distúrbios que ocorram no sistema;
- Desenvolvimento de processos de comunicação rápida e inteligente;

#### **4.3.4. Fatores Críticos para o Desenvolvimento Futuro**

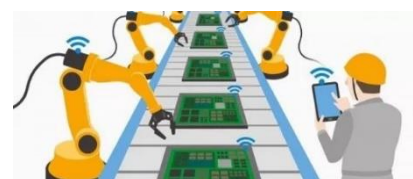
Identificam-se, para este subtema, cinco fatores críticos para o desenvolvimento futuro:

- **Formação de Recursos Humanos** de nível muito elevado: este ponto é primordial tendo em vista não só a Agenda de Investigação enunciada, mas igualmente a implementação adequada dos desafios detetados a nível da inovação industrial;
- Necessidade de ir **atualizando o parque de infraestruturas e de equipamentos** para manter a competitividade com outros centros de I&D mundiais;
- **Financiamento**: trata-se de uma questão fundamental do ponto de vista da investigação, pois abarca os dois anteriores: formação de recursos humanos de muito elevado nível e aquisição de infraestruturas e equipamento. Parece hoje claro que a sustentabilidade do sistema de investigação nacional passa, necessariamente, pela diversificação das fontes de financiamento;
- **Articulação entre Investigação Académica e Empresas**: criação, quer de parte das universidades, quer de parte das empresas, de interlocutores de elevada formação, capazes de criar laços fortes e duradouros entre essas instituições. Neste contexto, deve-se privilegiar o papel das *start-ups* de base tecnológica;
- A participação de investigadores portugueses (associados ou não a empresas, de acordo com o ponto anterior) em projetos internacionais/Europeus.

### **4.4. Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura**

#### **4.4.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030**

Assente numa crescente aplicação de sistemas ciber-físicos na indústria de manufatura, a robótica e os sistemas inteligentes vão tornar-se dominantes no espaço fabril num futuro próximo, tornando-se **o símbolo de uma nova era**



**industrial muitas vezes designada por Transformação Digital (indústria 4.0).** Os benefícios são múltiplos, relacionados com ganhos de **eficiência, flexibilidade, produtividade, competitividade, redução de desperdício, otimização de processos, fabrico de novos produtos recorrendo a novos processos tecnológicos** e ganhos para o humano ao nível da **ergonomia no trabalho**.

Trata-se de áreas multidisciplinares, com muitos desafios pela frente.

Parte significativa dos desafios apresenta-se quando os robôs, máquinas em geral, redes de sensores e pessoas operam em **ambientes industriais reais** (não estruturados), **partilhando o espaço, grandes quantidades de informação e tarefas de tomada de decisão**. Neste domínio, o que distingue o projetar a curto/médio/longo prazo da tecnologia é o facto de os sistemas operarem em ambientes estruturados (onde se sabe onde está o quê), mediamente estruturados (são conhecidos alguns elementos) ou **não estruturados** (ambiente dinâmico onde cada elemento pode aparecer em qualquer instante). A palavra robô(s) será usada para descrever **robôs manipuladores, plataformas móveis** e a combinação de ambos (**manipuladores móveis**), sempre num contexto de aplicação industrial.

Os sistemas inteligentes neste contexto de manufatura referem-se ao uso de **redes de sensores inteligentes**, máquinas inteligentes, células /subsistemas reconfiguráveis e adaptáveis, **análise de grandes quantidades de dados** para ajudar em tarefas de suporte à tomada de decisão (*big data analytics*), a **internet das coisas, interfaces homem-máquina e monitorização de processos**.

Impulsionado pelos novos padrões de consumo, o espaço industrial de manufatura por si deverá sofrer alterações, com **sistemas produtivos totalmente flexíveis e modulares**, habilitados a produzir e interagir com **produtos inteligentes** (por exemplo interfaces homem-máquina assentes no reconhecimento de gestos para a indústria automóvel). O desenvolvimento da robótica colaborativa e da impressão 3D, associada à expectável redução de custo dos equipamentos levará a que o conceito de **micro-fábrica** se torne uma realidade, permitindo o fabrico na própria casa de novos produtos assim como o desmantelar e reciclar de outros (por exemplo equipamentos eletrónicos).

Considerando o panorama Português, as atividades de investigação em robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura pode-se considerar abrangente e de qualidade mundial, tanto realizadas por entidades públicas como privadas.

A iniciativa Indústria 4.0<sup>24</sup> lançada pelo governo de Portugal em 2016 tenta harmonizar o trabalho desenvolvido pelas várias entidades, tentando fortalecer a investigação na área e a transferência de tecnologia da academia para a indústria. Esta será uma oportunidade para a economia Portuguesa enfrentar os importantes desafios que se lhe colocam, relacionados com a produtividade, flexibilidade produtiva, inserção em cadeias de valor internacionais, falta de recursos técnicos em alguns sectores, e a produção de baixo valor acrescentado.

#### **4.4.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos**

Os desenvolvimentos nos últimos dez anos são variados e significativos, a vários níveis: **robótica (hardware e software), internet das coisas, sensores, sistemas cognitivos, análise de grandes quantidades de dados, sistemas de suporte à tomada de decisão, capacidade computacional**, etc. Os desenvolvimentos permitiram não só criar **tecnologias**, mas também **melhorar a qualidade da tecnologia existente** e a **redução do custo da tecnologia** conseguida por várias vias.

Assim, destacam-se os **sistemas cognitivos** baseados na **classificação de padrões** (objetos, gestos, comportamento humano, etc.) a partir de grandes quantidades de informação capturada por múltiplos sensores. São exemplo o *deep learning* e técnicas de **redução de dimensão de dados**. As máquinas apresentam já uma boa capacidade de generalizar a partir de casos particulares em ambientes

<sup>24</sup> <http://www.industria4-0.cotec.pt/>

relativamente estruturados. Surgiram também soluções de sistemas inteligentes **não supervisionados** e de *reinforcement learning*. Este último assenta numa aprendizagem pela experiência ao longo do tempo. O modo como a informação classificada é tratada e transformada em comandos para as máquinas também teve uma evolução considerável, nomeadamente ao nível da combinação de tarefas primitivas e mapeamento de comportamentos. **Mecanismos complacentes** permitiram o aparecimento de robôs e ferramentas mais seguros(as) e flexíveis. Permitiram também a **interação física com os mecanismos** assim como diversas técnicas de **ensinamento por demonstração**. Têm-se desenvolvido técnicas que permitem modelar sistemas redundantes e com crescente número de graus de liberdade.

Ocorreu também uma grande evolução nos **sensores que capturam informação de ambientes cada vez menos estruturados**, de forma mais fiável e a preços muito mais reduzidos. São exemplo as câmaras 3D, câmaras de eventos, electromiografia, electroencefalografia, sensores laser, entre outros. No domínio dos sensores que podem ser acoplados ao corpo (*wearable*), tem-se assistido ao aparecimento de sensores mais pequenos, baratos, precisos e resistentes.

A integração **plug-and-play** de diversos sensores e atuadores é hoje uma realidade. O sistema operativo para robôs (**ROS**) veio facilitar de forma decisiva a integração dos diversos elementos de um sistema robótico.

Existem em Portugal vários centros de competência nestas áreas. Na área da robótica industrial, estes centros têm apresentado contributos significativos no desenvolvimento de interfaces homem-robô, robótica móvel e integração de sistemas robóticos em processos tecnológicos avançados e sistemas de gestão industrial. Na área dos sistemas de manufatura inteligente têm apresentado contributos significativos nos sistemas ciber-físicos, internet das coisas, e sistemas reconfiguráveis.

#### 4.4.3. As questões chave para uma agenda de investigação

A robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura são áreas multidisciplinares, com vários questões chave a considerar na agenda de investigação. De destacar a **integração dos sistemas ciber-físicos**, compostos por redes de entidades autónomas com elementos físicos (sensores e atuadores) e digitais. As questões chaves são:

- Os **sistemas de manufatura** devem ser programados/instruídos de forma natural, permitindo que os humanos não fiquem excluídos da tecnologia por não possuírem conhecimentos técnicos. Estes equipamentos devem poder ser instruídos conjugando comandos naturais de gestos, voz e por demonstração (incluído o contacto físico direto com o robô), tal como os humanos fazem entre si. **Robôs colaborativos** partilham o espaço e **trabalham lado-a-lado com os humanos**, em **segurança** e combinando o melhor de cada elemento, i.e., a capacidade cognitiva e de coordenação dos humanos com a precisão e repetibilidade dos robôs. Estes devem evitar colisões com múltiplos obstáculos (incluindo humanos), devendo o movimento do robô ser suave e coerente com a segurança dos humanos em redor;
- **Veículos** (robôs móveis) que **navegam autonomamente** a velocidades relativamente elevadas e posicionam-se com precisão. Assim, poderão realizar tarefas de logística interna e de suporte aos humanos num contexto de produção flexível. Os robôs e máquinas inteligentes, ainda que colaborativos, deverão ter a capacidade de realizar algumas **tarefas autonomamente** tais como identificação de objetos, manipulação e montagem dos mesmos.
- Os **manipuladores** devem possuir **ferramentas flexíveis**, fáceis de integrar e instruir, modulares e com sensores integrados. O apanhar e fixar de objetos deformáveis (por exemplo fios elétricos e fita-cola) deverá ser possível. Tarefas de apanhar objetos (**bin-picking**) devem assentar na fusão sensorial por percepção;
- Interação e coordenação de **múltiplos robôs com múltiplos humanos**, a abordar ao nível da

interação homem-robô, percepção, navegação, tomada de decisão e trabalho em equipa;

- Sistemas **robóticos macios** (*soft-robotics*), bio-inspirados, capazes de absorver choque e com grande adaptabilidade. A sua modelação e controlo preciso são fatores chave. Exo-esqueletos que melhorem as capacidades dos humanos em termos de força e precisão;
- **Sistemas de sensores em rede** devem captar em tempo-real o estado de todos os elementos do sistema produtivo, incluindo os humanos. É crucial ter dados sensoriais fiáveis e precisos, obtidos da fusão de diferentes sensores, nomeadamente os sensores de visão (os menos intrusivos), e sensores *wearable* integrados nas roupas dos humanos e que podem ser lavados.
- A **quantidade crescente de dados** adquiridos do sistema produtivo deve ser analisada, por vezes na nuvem, permitindo a **tomada de decisões automática** e o **suporte à tomada de decisões** de manufatura. A **internet das coisas** irá permitir a transmissão de informação e conhecimento entre os múltiplos agentes, permitindo o registo e a rastreabilidade;
- O **conhecimento para realizar algumas tarefas tecnológicas** (por exemplo soldadura ou pintura) deve poder ser transmitido diretamente às máquinas que vão executar a tarefa. Estas deverão ter a **capacidade de generalizar a partir do caso particular demonstrado** e a capacidade de agregar um conjunto de conhecimentos base/primitivos de forma a executar tarefas complexas;
- Os sistemas devem reconhecer as **intenções dos humanos** e **antecipar comportamentos**, especialmente comportamentos que possam conduzir a erros de manufatura e que coloquem em causa a integridade dos humanos e dos equipamentos. Surge como um grande desafio o **detetar em tempo real da qualidade, posição e orientação** dos diferentes elementos estáticos e dinâmicos no espaço, com sistemas sensoriais não intrusivos, fiáveis e robustos no evitar de oclusões, distorções devidas a campos magnéticos, condições de luz, ruído e humidade variável;
- Os **elementos dos sistemas produtivos devem poder ser integrados e reconfigurados de forma rápida**, permitindo uma redução significativa dos tempos de *Setup*. Soluções **plug-and-play, plug-and-produce, sistemas modulares, interoperáveis e distribuídos** deverão estar na base de um sistema de manufatura avançado, permitindo a adaptabilidade e escalabilidade. A modularidade dos elementos (sistemas mecânicos, mecatrónicos e de software) deve permitir a configuração de um novo sistema, com novas funcionalidades e gamas de aplicação. Os **sistemas ciber-físicos** (compostos por múltiplos computadores, sensores e atuadores) devem ser facilmente **integrados** entre si, permitindo que a informação flua entre eles num contexto de **internet das coisas industrial**;
- Os sistemas devem ser **resilientes**, capazes de se adaptarem a novas condições de trabalho quando sofrem danos de diversas ordens. Este comportamento compensatório deve permitir o estabelecimento de um plano alternativo para a execução das tarefas, **auto reconfiguração** e também a **autorreparação** (funcionalidades avançadas de monitoração, diagnóstico e recuperação);
- **Redes seguras** imunes a possíveis intrusões externas que possam afetar o sistema produtivo e os dados do mesmo. A segurança dos sistemas ciber-físicos é crítica pelo que devem ser desenvolvidas estratégias de ciber-segurança **integradas de raiz no sistema de manufatura**.

#### 4.4.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro

Diversos fatores podem condicionar a concretização da visão e dos desenvolvimentos propostos, sejam eles de carácter **político, económico-social** ou **técnico**.

As diretivas do estado português e da União Europeia vão no sentido da participação e fortalecimento de uma **economia global** onde as empresas competem entre elas, mesmo que em condições diferentes, e levando a que se destaquem pela sua **eficiência**. Uma alteração a este paradigma, num contexto mais protecionista, pode levar a que a eficiência do sistema produtivo não seja uma prioridade.

A existência de uma estratégia nacional centrada no aumento sustentado da competitividade e produtividade da economia, onde através de uma aposta nas **qualificações e na capacidade de organização e gestão dos recursos e processos e na adoção de tecnologias avançadas**, permitam gerar “*orders winners*” baseados em qualidade e eficiências ímpares, afigura-se crucial.

Outro grupo de fatores está relacionado com **regulamentação do trabalho** onde máquinas e humanos partilham tarefas trabalhando lado-a-lado. Neste cenário, podem surgir questões **legais e de segurança** que vão dificultar a sua implementação. Algumas tarefas de manufatura tendem a desaparecer com a automação dos processos, pelo que se pode colocar uma pressão em termos de **falta de trabalho** que force os governos a **incentivar o trabalho manual** em detrimento do trabalho colaborativo realizado por máquinas e humanos.

Ao nível técnico, fatores relacionados com a **precisão e repetibilidade** expectável para os diversos sensores e atuadores podem não ser atingidos. A falta de **dados sensoriais fiáveis** inviabiliza processos de interação, autonomia e segurança. Os sistemas inteligentes de **classificação de padrões** podem requerer ajuste manual de dados, assim como uma relativamente elevada quantidade de dados de treino. Assim, será relevante conseguir obter bons resultados de classificação com poucos dados de treino, informação incompleta e de forma não supervisionada. Elevados **tempos de integração** dos elementos ciber-físicos (devido a falta de interfaces *standard*) podem conduzir a elevados tempos de *setup*, comprometendo o conceito de **manufatura/célula flexível**.

Atualmente os robôs sensitivos (que trabalham de forma segura lado a lado com os humanos) apresentam capacidades de carga relativamente reduzidas, pelo que o desenvolvimento de **robôs complacentes com maior capacidade de carga** é um fator crítico para o desenvolvimento da robótica colaborativa. O não atingir dos **níveis de segurança** desejáveis nos sistemas ciber-físicos pode comprometer o conceito de fábrica digital e levar a uma retração das empresas na aplicação do mesmo.

#### 4.5. Redes colaborativas e produção centrada no ser-humano



Nas próximas décadas a sociedade portuguesa em geral e o seu tecido industrial em particular enfrentam o desafio de se ajustarem e tirarem partido de grandes vetores de mudança já claramente perceptíveis. Como grandes tendências são de salientar:

- **A transformação do perfil demográfico**, refletida num acentuado envelhecimento da sociedade. Para além dos encargos sociais acrescidos, há ainda que contar com uma presença cada vez maior de idosos ativos na indústria;
- **A crescente aceleração de eventos disruptivos**. As sociedades contemporâneas são desafiadas por um número crescente e cada vez mais frequente de eventos disruptivos devidos a fatores como aceleração da globalização, leis e normas mais exigentes, crises económicas, alterações climáticas, terrorismo e ataques informáticos, aumento de desníveis sociais, dependência tecnológica de sistemas com crescente complexidade e mal compreendidos, xenofobias, etc.;
- **A crescente precarização de relações laborais**, acentuada por alguns modelos socioeconómicos atuais,



é de igual modo potencialmente conducente a situações disruptivas;

Paralelamente a estas macrotendências, há que contar com fatores tecnológicos e de transformação social em curso, nomeadamente:

- **Hiperconectividade.** Num mundo progressivamente mais interconectado digitalmente, humanos, agentes inteligentes, máquinas e dispositivos atuam em conjunto, evoluindo para formas eficientes de inteligência coletiva;
- **Interpenetração entre mundo físico e virtual,** refletida nos avanços em sistemas ciber-físicos, Internet das coisas e redes de sensores;
- **Ambientes e sistemas progressivamente mais autónomos e inteligentes,** mas envolvendo grande diversidade de tecnologias heterogéneas e com diferentes ciclos de vida.

#### **4.5.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030**

As grandes tendências acima mencionadas conduzem a novas formas de relacionamento, crescimento exponencial de dados e informação, e aumento da complexidade.

Neste contexto, importa não só uma adaptação (perspetiva defensiva), mas também uma abordagem pro-activa para a exploração de novas oportunidades. Podem assim definir-se como grandes objetivos neste tema:

- **Fomentar modelos de indústria centrados no humano.** Permitindo uma maior participação do ser humano e suas comunidades em todas as fases do ciclo de vida dos produtos-serviços, dotando-os de mais adequados instrumentos (extensão de capacidades) de decisão e ação;
- **Aumentar eficiência comunicacional.** Adaptando-se às formas de comunicação das novas gerações, por exemplo, potenciando as redes sociais e os jogos, ajustando-se e tirando proveito de ambientes com abundância de dados, e facilitando interação com sistemas complexos;
- **Promover a sustentabilidade dos sistemas industriais.** Encontrando novos “contratos sociais” e novos modelos organizacionais, valorizando as pessoas e suas comunidades, e promovendo a sustentabilidade.

#### **4.5.2. Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos**

Na última década tem-se observado avanços em várias áreas que contribuem para este tema:

- Consolidação das **Redes Colaborativas** como uma nova disciplina científica. Avanços substanciais nesta área incluem modelos, estruturas organizativas, plataformas colaborativas e ferramentas de suporte à colaboração;

Temas mais avançados incluem investigação em sistemas de valores, gestão da confiança; alinhamento de estratégias, modelos comportamentais, etc. Embora permeando todos os sectores de atividade, tais desenvolvimentos são particularmente evidentes nas agendas das Fábricas do Futuro e Indústria 4.0;

- Introdução e crescente aceitação das ideias de **“Investigação e inovação aberta”**, que se traduzem numa forma específica de redes colaborativas entre uma grande variedade de atores externos;
- Forte convergência e integração de tecnologias de manufatura, tecnologias de informação e comunicações e inteligência artificial, combinadas com avanços nos modelos organizacionais, novos modelos de negócio e definição de cadeias de valor, culminando nas noções de Indústria 4.0 ou sistemas inteligentes de manufatura. O desenvolvimento de tecnologias de integração entre os mundos físico e virtual, i.e., sistemas ciber-físicos e *Internet* das coisas, tem assumido particular protagonismo;
- Progresso e redução de custos em tecnologias de interface humano-máquina, levando a um uso mais generalizado e surgimento de novas aplicações. Aqui incluem-se os desenvolvimentos em interfaces naturais, realidade virtual, realidade aumentada, sistemas holográficos, sistemas hápticos, etc.;
- Início da exploração da colaboração homem-máquina em contextos industriais, como exemplificado pela área dos robôs colaborativos;

- Progressos na aplicação das TIC à 3ª idade, não só na vertente de assistência a idosos, mas também na perspetiva de prolongamento da vida ativa (social e profissional);
- Reforço duma cultura de colaboração academia-indústria na Europa, nomeadamente induzida pelos programas da Comissão Europeia.

A comunidade científica nacional tem tido um papel relevante a nível internacional em várias destas áreas:

- Papel de liderança na comunidade de Redes Colaborativas, nomeadamente através da SOCOLNET – *International Society of Collaborative Networks* (com sede em Portugal), IFIP 5.5 (*Virtual Enterprises*) e uma série de conferências internacionais PRO-VE (*Virtual Enterprises/Collaborative Networks*), com forte presença de vários grupos nacionais;
- Forte participação de grupos nacionais em projetos e iniciativas europeias nas áreas de Fábricas do Futuro, MANUFUTURE, Indústria 4.0, Interoperabilidade e Cidades Inteligente;
- Boa participação (nalguns casos com liderança) em *roadmaps* europeus em redes colaborativas, sistemas distribuídos de manufatura, TIC e 3ª idade;
- Alguns contributos, incluindo organização de eventos internacionais, nas áreas de interfaces H-M, computação de emoções, etc.

#### 4.5.3. As questões chave para uma agenda de investigação

As seguintes questões são chave para uma agenda de investigação nesta área:

- **Novos Modelos de Negócio** (*Que novos modelos de negócio permitirão potenciar a economia em rede e centrada no humano?*)

Nesta questão incluem-se tópicos como:

- **Integração de cadeias de valor** – focando a compreensão das tendências em cadeias de valor globais e identificação de formas de integração, considerando o papel do humano em todos os estádios dessas cadeias;
  - **“Servitização”** – potenciando o papel das redes colaborativas no desenvolvimento e fornecimento de serviços de valor acrescentado associados ao produto ao longo do seu ciclo de vida, incluindo produtos inteligentes em rede;
  - **Novos ecossistemas sustentáveis de negócio** – explorando o papel da colaboração na organização e governação de ecossistemas industriais sustentáveis, incluindo a consideração dos seus sistemas de valor e métodos de partilha de benefícios/riscos;
  - **“Glocalização”** – tirando partido das redes colaborativas e novas formas organizativas para combinar estratégias de mercado globais com necessidade de adaptação às especificidades locais;
  - **Cadeias híbridas** – combinando entidades com diferentes sistemas de valores (ex. públicas, privadas, ONGs) e encontrando formas de alinhamento entre esses sistemas;
  - **Resiliência e anti fragilidade** – visando sistemas com capacidade de absorver choques provocados por eventos disruptivos e de transformarem a “energia” desses choques numa melhoria de desempenho;
- **Novas Estruturas Organizacionais** (*Que novas estruturas organizacionais, que papéis para os vários intervenientes, e que modelos de governação permitem suportar redes colaborativas industriais ágeis e sustentáveis?*).

Aqui incluem-se tópicos como:

- **Estruturas, papéis e modelos de governação** – com vista a compreender as novas formas organizativas, especialmente nas vertentes dinâmica e de complexidade, bem como os papéis dos vários atores e novos modelos de governação adaptados a essas estruturas;

- **Comunidades e ecossistemas** – para reforço dos conceitos de comunidade e ecossistema em contexto industrial, bem assim como ligação ao conceito de cidade/região inteligente (manufatura metropolitana) e plataformas de inovação participativa;
  - **Coexistência de redes formais e informais** – para entender as interações e potenciais benefícios da coexistência de redes formais (ex. estruturas reguladas por contratos) e informais (ex. redes sociais) num mesmo ecossistema industrial;
  - **Interpenetração entre redes multinível (humanos, máquinas, empresas, comunidades)** – incluindo o desenvolvimento de modelos e métodos de análise para redes multinível;
  - **Propriedades estruturais** – complexidade, auto-organização, sustentabilidade, envolvendo o estabelecimento de novos indicadores que reflitam as propriedades estruturais de redes complexas e evolutivas, correspondentes métricas, e seu papel na indução de novos comportamentos;
  - **Modelos inspirados na Natureza** – considerando que os ecossistemas naturais contêm inúmeros exemplos de processos colaborativos que atingiram notáveis níveis de otimização e que podem inspirar (bio-mimética) o desenvolvimento de melhores ecossistemas industriais, nomeadamente em termos de estruturas organizativas, modelos comportamentais e mecanismos de regulação;
- **Por um Novo Humanismo Industrial** (*Como recentrar os processos industriais no ser humano, dotando-o de novas capacidades de participação e intervenção?*);

O escopo desta questão não deve restringir-se aos humanos na planta fabril, devendo considerar os múltiplos níveis de participação – engenharia, produção, serviços, consumo, comunidades, sociedade. Neste contexto, incluem-se tópicos como:

- **Extensão de capacidades do humano** – explorando a simbiose entre as capacidades do humano e suas potenciais extensões em termos de capacidade de perceção e atuação possibilitadas pela tecnologia;
  - **Vertentes tecnológicas** – Interfaces H-M (VR, AR, hologramas, naturais, etc.) e Colaboração H-M, incluindo gestão de interfaces e aproximação participativa aos sistemas inteligentes de manufatura;
  - Viver com abundância de informação (*big data*), lidar com complexidade, o que requer adequadas estratégias e modelos comportamentais, emocionais e organizacionais;
  - **Personalização e evolução dos sistemas** - incluindo adaptação aos diferentes estádios do ciclo de vida dos humanos;
  - **Projeto de experiências do utilizador** (“UX Design”) e **co-inovação** – visando capacidades transformativas e envolvimento dos utilizadores nos processos de conceção e projeto. Criação de comunidades criativas em contextos de manufatura distribuída;
  - **Modelos comportamentais e co-aprendizagem** - visando uma melhor compreensão de mecanismos comportamentais e emocionais e seu papel nos níveis de envolvimento/participação. Exploração de aprendizagem colaborativa;
- **Ética, Valores e Segurança** (*Como integrar adequados princípios de ética, promover a valorização do humano e abordagens colaborativas, numa ótica de segurança em sistemas complexos industriais?*).

Aqui incluem-se tópicos como:

- **Novos contratos sociais** – visando suportar novas formas de trabalho em rede e em contextos fortemente dinâmicos;
- Riscos, dependências, disrupções, segurança, considerando a velocidade de transformação dos sistemas produtivos, acelerada evolução tecnológica com conseqüente dependência de sistemas complexos e aumento de eventos disruptivos;
- Fatores de atração para uma carreira na indústria, combinando as possibilidades oferecidas pela tecnologia conducentes a novas formas de trabalho, com novos modelos de incentivos,

novas formas de “segurança social” e novos mecanismos de valorização pessoal;

- Ambientes promotores de criatividade, criando condições para um efetivo aproveitamento das capacidades criativas dos humanos em contextos participativos, levando a novos patamares de inovação de produtos, serviços e processos;
- Tecnologias persuasivas, jogos – explorando os aspetos lúdicos e de competição para conseguir maior envolvimento participativo e realização pessoal;
- Novas formas de aprendizagem colaborativa e colaboração em massa/inteligência coletiva.
- Cocriação de conhecimento e relacionamento inter-geracional – criando condições e mecanismos de suporte a uma efetiva colaboração entre diferentes gerações de profissionais, otimizando as contribuições de cada nível geracional e garantindo melhor integração e oportunidades para todos.

#### 4.5.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro

Uma adequada resposta aos desafios seguintes permitirá consolidar o papel da nossa comunidade científica nestas áreas, potenciando valências já existentes e criando oportunidades para um novo modelo de indústria capaz de dar resposta aos grandes desafios societais da próxima década.

- **Interdisciplinaridade** - Uma abordagem efetiva aos desafios propostos requer uma perspetiva multidisciplinar, tendencialmente interdisciplinar. Embora a interdisciplinaridade seja frequentemente referida em programas Europeus e nacionais como característica desejável ou mesmo um requisito, na prática os painéis de avaliação continuam a ser sempre monodisciplinares. Isto leva a que propostas com tais características nunca sejam adequadamente consideradas.
- **Formação** - Ainda são poucas as universidades/cursos em Portugal que incluem unidades curriculares sobre Redes Colaborativas. Nalguns casos tais assuntos são apenas abordados como módulos doutras disciplinas.
- **Fomento duma cultura colaborativa na indústria** - Ainda se verifica pouca penetração na indústria nacional da extensa base de conhecimentos já existentes nesta temática a nível de investigação. Isto dever-se-á a deficiências de formação a nível do ensino superior e também às dificuldades naturais das abordagens multidisciplinares. Torna-se necessário criar ações de formação específica e novos “espaços” de colaboração academia-indústria (projetos piloto orientados para atividades em rede).
- **Elaboração de novos indicadores de desempenho** - As pessoas e as organizações tendem a “ajustar-se” à forma como são avaliadas (adaptamo-nos ao que medimos). Torna-se assim necessário desenvolver novos indicadores centrados na colaboração e no humano.
- **Continuar e incrementar a participação em redes internacionais** - Uma efetiva participação nacional em redes e fóruns internacionais sobre estes temas, nomeadamente com uma ambição de forte contribuição e liderança, requer financiamentos específicos, já que tais atividades, quer pela sua natureza, quer pelo grau de continuidade exigido, são dificilmente enquadradas nos projetos “normais” de investigação. Importa, pois, criar outros mecanismos de apoio continuado a esta participação como forma de assegurar um envolvimento credível perante parceiros internacionais.
- **Novos espaços de envolvimento de jovens** - Importa atrair as novas gerações para a indústria e manufatura, por exemplo, através de soluções combinando indústrias criativas com indústrias tradicionais, e um esforço de redução de (potenciais) conflitos inter-geracionais, clarificando possíveis papéis das várias faixas etárias e desenvolvendo projetos colaborativos envolvendo jovens e seniores.

**Evitar o imediatismo** - É necessário que a colaboração academia-indústria evite o risco de ser focada em

necessidades “imediatas”, as quais frequentemente se traduzem apenas em atividades “normais” de engenharia e consultoria, sem verdadeiro carácter de investigação e inovação. Muitas PMEs têm dificuldade em perspetivar atividades para o médio e longo prazo.

## 5. Capítulo V – Perspetivas de Inovação Tecnológica

Em termos da agenda de inovação para a área da Indústria e Manufatura, as mesmas cinco áreas da agenda de investigação foram identificadas:

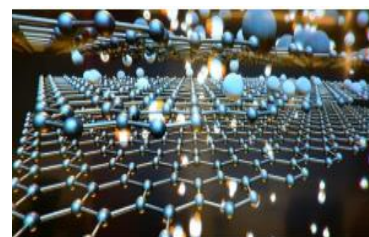
- Materiais avançados;
- Processos tecnológicos industriais avançados;
- Gestão eficiente de recursos e processos na indústria;
- Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura e;
- Redes colaborativas e a produção industrial centrada no ser humano.

No entanto, nesta agenda consideram-se os desenvolvimentos dentro destas áreas que, em 2030, estarão num grau de maturidade mais elevada e realçando os aspetos relevantes para a sua adoção pela indústria e mercado, criando assim inovação

### 5.1. Materiais Avançados

#### 5.1.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Como tendência mundial para 2030, a competição pelos recursos, em paralelo com as alterações climáticas e o aumento dos consumos energéticos serão desafios reais. Em particular, espera-se que a exploração dos recursos naturais continue concentrada num pequeno número de regiões e países dominantes, com todos os riscos associados em termos de volatilidade de mercados, tensões geopolíticas e instabilidade.



Por outro lado, o rápido crescimento esperado para a classe média de economias emergentes e o acesso à informação irá duplicar a procura de produtos e serviços cada vez mais customizados e desenhados para responder aos desafios sociais, pelo que a escassez de matérias-primas e energia e a gestão do conhecimento serão grandes desafios para o futuro<sup>25</sup>. Acresce ainda a maior consciencialização da sociedade em matéria de sustentabilidade e responsabilidade social e ambiental. Desta forma, o desenvolvimento e manufatura de novos materiais deverá ter em conta a sua multifuncionalização, sustentabilidade e minimização do consumo de recursos (matérias primas, energia e água), bem como a substituição de materiais críticos cujo fornecimento não possa ser assegurado ou que representem riscos ambientais e humanos<sup>26</sup>.

Assim, a estratégia de inovação para Portugal na próxima década deverá incluir o desenvolvimento e utilização de materiais avançados em diferentes sectores industriais, capazes de assegurarem por um lado o crescimento sustentável da indústria tradicional e, por outro, desenvolver novas indústrias criativas e inovadoras baseadas no conhecimento, geradoras de valor e de emprego tecnológico<sup>27</sup>.

Parte da indústria transformadora tradicional, muitas vezes focada em monoprodutos que fazem parte dos elos iniciais de uma cadeia de valor, terá um desafio significativo em adaptar as suas linhas produtivas a novos materiais e a desenvolver e comercializar novas aplicações para subir na cadeia de valor dos seus produtos, diversificando mesmo o campo de aplicação dos mesmos.

Em alguns casos a introdução, produção ou nova aplicação de um material avançado poderá ser de tal forma disruptiva que conduza ao fim ou transformação de algumas indústrias e à criação de outras, sendo fundamental garantir nesse processo a reconversão e uso eficiente de recursos existentes,

<sup>25</sup> SPIRE: Sustainable Process Industry: European Industrial Competitiveness through Resource and Energy Efficiency, 2013

<sup>26</sup> European Commission (2011), Commission Staff Working Paper: Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies (SEC(2011))

<sup>27</sup> European Commission (2012), Materials research and innovation in the creative industries - Report on the round table discussion, Brussels, 5 October 2012

nomeadamente, os recursos humanos.

Estes desafios abrem oportunidades para explorar ao nível de:

- **Novos modelos de negócio** baseados no conhecimento e explorando o conceito de economia circular na cadeia de valor, que passam pela reutilização e reciclagem de materiais e recursos, para a produção de novos produtos: design de produtos tendo em conta todo o ciclo de vida do produto e potenciais serviços associados (desde a recolha de matérias-primas, ao processamento de materiais, produção industrial, embalagem, transporte, utilização, descarte, reciclagem), novas técnicas de reciclagem ou melhores práticas de recolha e tratamento de resíduos para melhorar a eficiência e a qualidade da reciclagem de matérias-primas essenciais como alguns minérios metálicos (estanho, cromo-níquel, tungsténio, ferro, antimónio, lítio) e materiais não metálicos como a celulose e derivados, e a valorização de subprodutos ou correntes de processo secundárias de operações industriais existentes, frações orgânicas de resíduos municipais e de indústria florestal e agroindustrial, vidro e materiais cerâmicos, polímeros naturais e sintéticos, entre outros;

- **Criação de valor e diferenciação**, através do desenvolvimento de tecnologias de caracterização do desempenho de materiais avançados e novas tecnologias dedicadas, por exemplo, ao isolamento, purificação e implementação industrial de materiais extraídos ou obtidos pelo processamento físico, químico e/ou biológico de recursos naturais endógenos<sup>28</sup> (sejam terrestres ou marinhos), que podem ser comunicados e evidenciados através de uma adequada intervenção do design;

- **Novos métodos de produção para a indústria tradicional**, usando o conhecimento existente, para o desenvolvimento de novos produtos com recurso a materiais convencionais (apenas como exemplos, operações avançadas de controlo remoto e automação na indústria extrativa e o uso inovador de bio lixiviação podem tornar o setor da exploração mineira mais competitiva e sustentável ou, ainda, a utilização de novas gerações de enzimas permite poupanças energéticas consideráveis no fabrico de pasta de papel);

- **Novos materiais de embalagem** com valor acrescentado que permitam uma integração com sistemas logísticos seguros, de reabastecimento inteligentes, que permitam informar o consumidor da conformidade do produto embalado, aumentar o seu período de validade e que sejam amigos do ambiente (por exemplo, produzidos a partir de matérias primas renováveis, recicláveis em fim de vida ou biodegradáveis);

- **Melhor uso das matérias-primas e tecnologias na produção de materiais avançados**<sup>29</sup> como, por exemplo, os casos dos biomateriais, nanomateriais e nanocompósitos para a indústria automóvel, aeronáutica, eletrónica, segurança, construção e energias renováveis, telecomunicações, medicina, farmacêutica, química papeleira e têxteis, que permitam o desenvolvimento de novas aplicações e produtos; 70% de todas as inovações tecnológicas está direta ou indiretamente ligada aos materiais, valor que tem vindo a aumentar desde 1970 e com tendência para continuar a aumentar, utilização de processos de engenharia e design com vista à aceleração da transferência de conhecimento e implementação de materiais avançados em produtos no mercado;

- **Novos modelos e abordagens** para prever as propriedades dos materiais, para desenhar materiais com mais alto desempenho, para acrescentar funcionalidades aos materiais e para facilitar o seu processamento para aplicações de alto valor acrescentado e assim acelerar o seu desenvolvimento e maximizar o seu desempenho de acordo com a aplicação final;

- **Novos métodos e tecnologias de produção** que permitam a customização a baixo custo, incluindo tecnologias avançadas de limpeza e verificação de limpeza que permitam uma rápida mudança de linhas produtivas, aumentando a multifuncionalidade e a capacidade de adaptação das mesmas à produção de

---

<sup>28</sup> JRC (2011), STRATEGIC ENERGY TECHNOLOGY PLAN - Scientific Assessment in support of the Materials Roadmap enabling Low Carbon Energy Technologies: Bioenergy, EUR 25154 EN - 2011

<sup>29</sup> A review of international public sector strategies and roadmaps: a case study in advanced materials, Ed. C. Featherston, E. O'Sullivan, Centre for Science Technology and Innovation, Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2014

novos produtos em séries cada vez mais pequenas e uma maior adequação às necessidades de diferentes utilizadores e consumidores e a implementação de processos de *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA). combinando metodologias de Design para a facilidade de fabricação das peças e sua montagem;

- Exploração das **nanotecnologias** e **biomateriais** associadas à área da saúde permitindo obter funcionalidades em órgãos específicos, p.ex., de monitorização (sensores), ativação (bio- ou electroestimulação) e entrega local de fármacos por administração sistémica;
- **Novos sistemas de gestão integrada de riscos e segurança** para os materiais avançados e seus subprodutos, tendo em consideração o ciclo de vida dos materiais, assim como os seus impactos e riscos, para um desenvolvimento sustentado;

### 5.1.2. Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos

Nos últimos 10 anos os principais desenvolvimentos tecnológicos observados ao nível dos materiais utilizados pela Indústria passaram por alguns dos seguintes exemplos:

- **Materiais estruturais e multifuncionais**<sup>29</sup>: desenvolvimento de novos compósitos de base polimérica e sistemas de matrizes termoplásticas mais leves e resistentes, com aplicações no setor automóvel, aeronáutico e construção; incorporação de polímeros produzidos a partir de matérias-primas renováveis em formulações para produção de plásticos ou compósitos mais sustentáveis; engenharia de partículas para formulações avançadas, com aplicações no sector farmacêutico, alimentar ou têxtil; utilização de matérias-primas de base celulósica (fibras naturais, papel e outros materiais funcionais de baixo custo) e sua funcionalização para aplicações eletrónicas e optoelectrónicas bem como para desenvolvimento de compósitos para aplicações industriais; integração de materiais inovadores e tradicionais, tirando partido da multifuncionalidade gerada; uso de materiais híbridos e meta materiais para desenvolvimento futuro de super-lentes e sistemas de camuflagem (estes desenvolvimentos poderão abrir caminho para microscópios de altíssima resolução, nano circuitos para supercomputadores e mecanismos de invisibilidade capazes de tornar objetos invisíveis ao olho humano);
- **Novos materiais para fabrico aditivo**: desenvolvimento de materiais (p. ex., compósitos, cerâmicos, vidros, polímeros) para aplicação na prototipagem e fabrico rápido de biomateriais (para próteses, biossensores, medicina personalizada e medicina de precisão e outras aplicações médicas), compósitos poliméricos com materiais diversos para fabrico rápido de objetos de alta performance/alto valor, materiais reciclados de base polimérica (plásticos) para prototipagem e fabrico de peças para aplicações específicas;
- **Materiais inteligentes**: por exemplo, no desenvolvimento de novas fibras celulósicas<sup>30</sup> e fibras têxteis com eletrónica incorporada para a produção de superfícies interativas inteligentes; desenvolvimento de superfícies auto-limpáveis, integração de materiais avançados, dispositivos e sistemas (ex. OLEDS - *Organic Light-Emitting Diode*, sistemas fotovoltaicos), sistemas de climatização e poupanças de energias em edifícios<sup>31</sup>, usando materiais/revestimentos inteligentes, por exemplo, que permitam adaptar a coloração das zonas do edificio expostas ao sol, consoante a sua luminosidade e/ou intensidade, membranas seletivas para purificação de água e aplicações químicas e farmacêuticas, reduzindo consumos energéticos;
- **Materiais para eletrónica verde**: utilização de novos materiais funcionais, iónicos e híbridos para eletrónica de baixo custo e sensores ou atuadores para aplicação em tecnologias de informação e comunicação;
- **Análise de Ciclo de Vida (LCA) e o Eco design**<sup>32</sup>: desenvolvimento de processos e tecnologias de

<sup>30</sup> Strategic Innovation and Research Agenda (SIRA) - Bio-based and Renewable Industries for Development and Growth in Europe, Bio-based Industries Consortium (BIC), March 2013

<sup>31</sup> JRC (2011), STRATEGIC ENERGY TECHNOLOGY PLAN - Scientific Assessment in support of the Materials Roadmap enabling Low Carbon Energy Technologies: Energy efficient materials for buildings, EUR 25173 EN - 2011

<sup>32</sup> AEP, Manual Prático de Ecodesign, 2013



processamento de materiais mais inovadores e sustentáveis<sup>33</sup>, tendo por base o conceito de eco-design (“*design for the environment*”) considerando o ciclo de vida de produtos e serviços, desde das matérias-primas, materiais, produção, embalagem, transporte, uso e fim-de-vida / descarte. Tal significa uma integração sistemática dos aspetos ambientais numa fase inicial do design do produto e, conseqüentemente, na seleção de materiais, processos de produção e modelos de negócio e distribuição que minimizem o impacto ambiental e ao mesmo tempo assegurem a competitividade e *comercialidade* dos produtos gerados;

- **Reciclagem, reutilização ou redução de materiais:** projeto de design para a reciclagem / reutilização e desenvolvimento de novos processos de reciclagem de materiais, tendo como resultado a produção de matérias-primas secundárias que cumprem as especificações mais exigentes (por exemplo, em termos de resistência de materiais, novas funcionalidades) e que permitem a sua utilização em novos processos produtivos; utilização de correntes secundárias de processos para valorização material e integração energética;

- **Customização e flexibilidade dos produtos e processos:** a produção customizada permitiu colocar no mercado produtos diferenciados de elevada qualidade a custos razoáveis; tal implicou a reengenharia de processos, linhas de produção (mais flexíveis) e integração de tecnologias, materiais e produtos por forma a dar resposta rápida à crescente procura de produtos e serviços personalizados. O design de produto poderá também contribuir para a geração de produtos e serviços adequados aos diferentes tipos de utilizadores e aplicações. Os aspetos mais relevantes têm em conta desde a compatibilidade de materiais à rapidez de mudança e adaptação dos processos a novos materiais;

- **Técnicas avançadas de produção:** como, por exemplo, as relacionadas com soldadura a frio, materiais não homogêneos, nanotecnologias e bioprocessos avançados;

- **Segurança:** desenvolvimento de sistemas de gestão integrada de riscos e segurança para os materiais avançados de engenharia e seus subprodutos (resíduos e/ou poluentes), contribuindo para uma economia industrial com recursos eficientes e realmente sustentável;

- **Adesivos:** novos sistemas adesivos com eficiência melhorada, biocompatibilidade e sustentabilidade;

- **Multifuncionalidade:** explorar as potencialidades múltiplas do mesmo material, em termos da estrutura, propriedades físicas e químicas, em volume (3D), superfície (2D) e unidimensionais (1D), tais como leveza, fácil limpeza, resistência mecânica, resistência à corrosão, abrasão, fotossensibilidade, condutividade elétrica, etc. (para integração em sensores e microssistemas funcionais – MEMs, *lab-on-a-chip*, microreatores; sistemas de energia – células solares, janelas inteligentes, células de combustível; tecnologias de informação – baterias de estado sólido para aplicações em plataformas móveis; nanotubos, nanoeletrónica, materiais optoelectrónicos; aplicações estruturais – cerâmicos, metais, filmes finos, catalisadores, nano compósitos; papéis inteligentes, biomateriais e têxteis técnicos e funcionais – com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, de fácil limpeza, com termorregulação, entre outras.

### 5.1.3. Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Garantir um abastecimento sustentável de matérias-primas, no quadro do uso eficiente de recursos, é uma prioridade fundamental para a UE e Portugal. As matérias-primas, como os metais e os minerais ou os materiais florestais, tornaram-se cada vez mais importantes para a economia, o crescimento e a competitividade da EU. Mais de 30 milhões de postos de trabalho na UE e muitos setores económicos fundamentais, como o automóvel, o aeroespacial, o químico e farmacêutico, as energias renováveis e a saúde, dependem de um abastecimento sustentável de matérias-primas. As matérias-primas são particularmente cruciais para o desenvolvimento de tecnologias avançadas e

<sup>33</sup> Paper on The Implementation of the SET Plan Roadmap “Materials for Low Carbon Technologies”, Recommendations to the SET Plan Steering Group and to the European Commission, June 2013

respeitadoras do ambiente e para uma base industrial europeia forte. A nível nacional, a estratégia de inovação deverá assentar no aproveitamento de recursos endógenos para o desenvolvimento de materiais sustentáveis e processos de manufatura inovadores como forma de alavancar setores industriais endógenos e potenciar a diferenciação, progressão na cadeia de valor e competitividade das empresas nacionais e o desenvolvimento económico e social.

Em termos do desenvolvimento e produção de **materiais avançados** e, tendo por base os objetivos e a estratégia de desenvolvimento alinhada com as metas Europeias em matéria de gestão de recursos (redução, reutilização, reciclagem e substituição) e valorização de matérias-primas e tecnologias endógenas, entendeu-se serem as seguintes as **oportunidades** e **aplicações** para potenciar a Inovação ao nível da Indústria e Manufatura em Portugal:

- Superfícies funcionais e inteligentes;
- Multifuncionalidade e compatibilidade dos materiais;
- Novos compósitos multifuncionais de base polimérica, cerâmica, metálica ou outra;
- Novos biopolímeros para novas aplicações e biomateriais para a área da segurança e saúde;
- Valorização de materiais naturais para novas aplicações;
- Novos materiais para fabrico aditivo;
- Novos materiais para gestão energética;
- Estratégias de diferenciação e comunicação das características inovadoras do produto através do design;
- Estratégias de Eco design e estratégias de DMFA;
- Valorização de resíduos naturais ou industriais e *ecodesign*;
- Reutilização e reciclagem de materiais;
- Flexibilidade e customização de processos de produção de materiais à escala industrial;
- Modelação de materiais e previsão de propriedades e comportamento a nível industrial;
- Desenvolvimento de materiais com base em modelação e desenho e arquitetura de novos materiais para aplicações industriais.

#### **5.1.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro**

Tendo por base os desafios e os objetivos que se colocam à Indústria para uma gestão eficiente em recursos e processos, listam-se os fatores críticos para o desenvolvimento futuro:

- **Aumento do investimento das grandes indústrias nacionais em atividades de investigação e desenvolvimento e vigilância tecnológica, alicerçadas em planos estratégicos de longo prazo;**
- **Aumentar o investimento no design de produto**, como disciplina de abordagem holística e integradora, capaz de fazer a ponte/transferência de conhecimento entre os desenvolvimentos materiais e tecnológicos e os produtos no mercado;
- Estímulo à **cooperação das grandes empresas com start-ups de base tecnológica;**
- **Implementação de metodologias de modelação avançada e previsão de comportamento de materiais** que permitam o desenho e arquitetura de materiais para aplicações avançadas;
- **Consciencialização para o uso eficiente de recursos**, assim como dos riscos ambientais e humanos associados ao uso de materiais não recicláveis e/ou tóxicos;
- Apoio ao **desenvolvimento da inovação**, estimulando a criação de **start-ups**, de novos produtos e serviços assentes na reciclabilidade, reutilização e substituição de materiais críticos;
- **Articular ferramentas disponíveis e organizações para acelerar o time-to-market** e inovação baseada em

materiais e processos mais sustentáveis e produtos de maior valor acrescentado;

- Preços e disponibilidade das matérias-primas;
- Dependência relativa das importações e uso ineficiente de recursos: **reforçar a eficiência global dos recursos e promover a reciclagem**;
- Elevados riscos de aprovisionamento devido à dependência das importações, a não existência de materiais substitutos; estrangulamentos no provimento de matérias-primas;
- Condicionalismos logísticos e dos custos de transporte das matérias-primas;
- Definição incorreta dos canais de reciclagem de produtos em fim de vida;
- Défice implementação das estratégias destinadas a aumentar a eficiência dos recursos, da reciclagem e da reutilização de materiais;
- **Existência de barreiras que impedem o desenvolvimento dos mercados de reciclagem, promotores de grandes oportunidades económicas**;
- **Informação insuficiente sobre a disponibilidade e qualidade de matérias-primas primárias e secundárias** (materiais reciclados);
- **Forte procura de matérias-primas, promovida pelo crescente nível de desenvolvimento dos países emergentes, o que se traduz no conseqüente aumento dos preços dos materiais**;
- Pouca transparência nos contratos e nas receitas de exploração de matérias-primas, com destaque para a fixação de preços e regimes duais de preços.

## 5.2. Processos Tecnológicos Industriais Avançados

### 5.2.1. Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Até 2030 Portugal tem que se afirmar como país de vanguarda ao nível do desenvolvimento e adoção de novos e inovadores processos tecnológicos industriais. O bom resultado obtido nos últimos anos ao nível do aumento das exportações proporcionadas pela indústria nacional faz com que se fale cada vez mais na desindustrialização ou em novas apostas na indústria.



Neste contexto importa que se façam todos os esforços para que esta estratégia não represente mais do mesmo, mas antes que se traduza numa aposta centrada numa indústria de novos processos. Neste contexto, podemos colocar os principais desafios ao nível do desenvolvimento e adoção de:

- **Processos inteligentes**, por via do aumento da inteligência dos sistemas/equipamentos capaz de os tornar mais competitivos;
- **Processos de desmaterialização e de engenharia inversa**, com especial enfoque na digitalização de processos de controlo de qualidade, controlo de processo, controlo e automação de processos de análise de fluxos e produtividade, e na introdução de algoritmos de produção que permitam o

desenvolvimento de inteligência artificial de controlo de “chão-de-fábrica”.

Neste âmbito os principais desafios são:

- Desmaterialização de produtos e processos e modelação geométrica 3D para controlo de processos;
  - Introdução de equipamento e linhas produtivas que integrem os conceitos de “autoanálise” (*self-assessment*) e auto-monitorização (*self-monitoring*) dentro das tecnologias de inteligência artificial para os sistemas produtivos, i.e., chão de fábrica, e integração de tecnologias de robótica avançada;
  - Integração do controlo de qualidade nos processos de produção recorrendo à implementação da tecnologia ML (*Machine Learning*);
  - Virtualização, Modelação & simulação de processos industriais, introduzindo realidade aumentada e realidade virtual e visão artificial;
  - Introdução de design de interface homem/máquina (UIX) que permita a integração das tecnologias e automação de forma intuitiva e integrada com o ser humano.
  - Processos adaptativos – adaptação das condições de produção às análises prévias de controlo de qualidade da matéria prima, e/ou adaptação à tipologia de processo/produto a desenvolver;
- **Processos/processos híbridos** tendo por base a integração de novos materiais avançados, em que os principais desafios são:
  - Nano e micro-fabricação de componentes compósitos e sistemas de sensorização avançados;
  - Introdução de tecnologias que permitam a maquinação e processamento de novos materiais compósitos diretamente na mesma estrutura, e combinação de tecnologias e materiais na mesma estrutura;
  - Exploração de novos processos de manufatura baseados em novos materiais preferencialmente renováveis e endógenos e catalisadores de base biológica e natural;
  - Fabricação aditiva: novos equipamentos ou estratégias para novos materiais incluindo impressão 3D de eletrónica embebida diretamente nos produtos;
  - Introdução de novos processos que permitam personalização em massa de produtos através da integração de plataformas de interface direta com cliente final;
  - Processos de funcionalização e engenharia de superfícies (nomeadamente os tratamentos de superfície com alterações estruturais sem material de adição);
  - Novos processos digitalizados e baseados nos conceitos IoT que permitam a otimização das cadeias logísticas; Processos que permitam a adoção da denominada “Produção distribuída”;
  - Desenvolvimento de novos processos industriais e equipamentos tendo por base materiais renováveis, sustentáveis e biológicos;
  - Desenvolvimento e integração avançada de processos para reaproveitamento de subprodutos ou resíduos industriais de forma a convertê-los em compostos e materiais com utilidade na fábrica;

### 5.2.2. Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos

O desenvolvimento da indústria em Portugal ao longo dos anos deve-se muito ao contexto político e económico internacional que estancou a deslocalização industrial para os países emergentes baseada no baixo custo da mão-de-obra. Este contexto centra-se na aposta no desenvolvimento de produtos de elevado valor acrescentado alavancados por processos industriais avançados e de maior eficiência, o que permitiu potenciar a competitividade nacional e o acesso do produto, processo ou serviço tecnológico nacional em mercados anteriormente não explorados e/ou inacessíveis devido a défices de qualidade pela aposta na competitividade pelo custo.

Os principais contributos que permitiram alavancar o desenvolvimento tecnológico nacional podem ser sumariados nos seguintes pontos:

- Introdução de novos processos e sistemas de controlo de qualidade e gestão industrial que permitem aumentar eficiências produtivas, energéticas e qualidade de produtos finais;
- Aplicação de novas metodologias e processos de desenvolvimento de produto com recurso a ferramentas virtuais de projeto e design, aumentando a colaboração multidisciplinar e diminuindo o tempo para o mercado.
- Adoção de processos capazes de trabalhar novos materiais, novos materiais compósitos e estruturas híbridas combinando materiais funcionais e inteligentes;
- Adoção de sistemas robóticos em processos de maquinação de precisão;
- Investimento por parte das empresas na melhoria de processos que resultam em maior produtividade, menor consumo de energia, redução de desperdício de matérias-primas;
- Desenvolvimento de equipamentos de prototipagem rápida e de impressão tridimensional de diferentes materiais, possibilitando uma célere apresentação do conceito a desenvolver;
- Criação de Clusters nacionais e internacionais de empresas e de centros de IDT, que facilitam a partilha e integração de novas tecnologias em processos tecnológicos;
- Criação de *spin-offs* universitárias com forte atividade de investigação que facilitam a transferência de tecnologia do sistema de científico e tecnológico para a economia;
- Criação de rede de laboratórios com serviços de proximidade às empresas que permitiu o acesso a tecnologias de caracterização e controlo de qualidade continuamente atualizadas a nível internacional, e o acesso a processos de certificação internacionais;

### 5.2.3. Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Ao nível dos processos tecnológicos industriais avançados, uma agenda de inovação para a indústria nacional deverá contemplar medidas que permitam essencialmente, a otimização/redução de consumo de energia quer no fabrico, quer no transporte de matérias-primas e produtos, e refletir a tendência de endogeneização dos conceitos de virtualização dos processos e a aproximação dos agentes envolvidos, de forma a permitir uma maior eficiência na operação, e mais rápida disseminação de conhecimento.

Estes parâmetros encontram-se diretamente interligados uma vez que pressupõem a utilização de novas tecnologias de digitalização de processos industriais de logísticos como *driver* para otimizar eficiência de projetos, carecendo para tal também a introdução de novos materiais e processos de fabrico nos quais se destacam:

- Utilização de **processos de fabrico aditivos**, como impressão 3D, com redução de desperdício de matérias-primas, possibilidade de customização e fabricação a nível local, mediante estratégias de DFMA;
- Adoção de processos que permitam **melhor utilização de recursos**, com foco na sustentabilidade, na economia circular e orientados à produção mais orientada as necessidades dos consumidores;
- Introdução de **tecnologias de reaproveitamento de energia**, e gestão inteligentes de trocas energéticas dos processos de fabrico e equipamentos industriais, visando o desenvolvimento de unidades produtivas autossustentáveis (balanço energético) ou energeticamente mais eficientes.

Adicionalmente, podem identificar-se apostas em processos com maior interação com o cliente final em diferentes fases do processo de fabrico para exploração de oportunidades na **customização e personalização em massa de produtos**. Estes conceitos permitem a customização de processos e produtos de acordo com as necessidades de um determinado mercado (área geográfica ou demográfica), ou uma rápida adaptação a tendências e evoluções tecnológicas.

Para tal será necessário criar as plataformas digitais necessárias para a interação com o cliente através do design de interface UX (projetista enquanto “curador” de diferentes soluções de

produto, a customizar pelo cliente final).

Outras oportunidades prendem-se com a exploração da infraestrutura e conjuntura tecnológica nacional, através do desenvolvimento de **sinergias e dinâmicas colaborativas de proximidade e entre Universidades e Polos de Investigação Científicas, Centros Tecnológicos e Unidades de Interface de Transferência de Tecnologia e Empresas, start-ups de base tecnológica**, focando em particular na exploração de *know-how* e recursos humanos nacionais em áreas como:

- Desenvolvimento coordenado de tecnologias como **manufatura avançada, fotónica, mecatrónica, ICT**, trabalhadores com maior nível de formação avançada, ambientes industriais inclusivos e com condições de trabalho em linha com a sociedade em que se inserem;
- Desenvolvimento de **design de interfaces UIX para trabalhadores**, com orientação para os processos, como ferramentas de visualização e simulação;
- Maior conhecimento dos clientes através da recolha de dados e informação, com base nos seus produtos e serviços inteligentes, i.e., introduzindo **sistemas de data analytics industriais/produção** para estabelecer uma relação de proximidade entre o processo de fábrica e as tendências de mercado e permitir a rápida adaptação às variáveis de cliente;
- Melhores serviços de atendimento com base numa melhor "**conectividade**" entre **clientes e prestadores de serviços**, criando estruturas de relacionamento;
- Novas soluções tecnológicas e uma visibilidade sobre a produção, que permitam abordagens revolucionárias ao alargamento da oferta e da competitividade;
- Reengenharia de processos tecnológicos já instalados permitindo o **reaproveitamento de equipamentos**.

#### 5.2.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro

Atualmente as principais ameaças que se colocam à indústria europeia e em particular à portuguesa já não são só a **deslocalização para países emergentes com baixo custo de mão-de-obra**, mas também para **países industrialmente avançados**, como os EUA, **pelos preços da energia** ou para **outros países em que a legislação não é tão rigorosa como a imposta pela EU**.

Além de alterarmos este cenário que pode de facto comprometer decisivamente a indústria portuguesa é importante estar atento a:

- **Necessidade de adaptação rápida a novas tecnologias e métodos de fabrico com a especial enfoque na introdução de tecnologias digitais e sistemas robotizados avançados**, adaptadas a uma facilidade de interação do utilizador humano através do correto design de interface UIX;
- **Evolução da oferta formativa técnico-profissional com uma maior orientação para processos informatizados e maior especialização inteligente dos recursos humanos**, promovendo maior adaptabilidade e interoperabilidade de competências adquiridas e facilitando uma mais rápida adaptação e especialização em ambiente produtivo;
- Necessidade de **aumento de investimento público e privado para a formação de operadores dos diferentes processos industriais, acelerando a sua integração em processos tecnológicos avançados e inteligentes**;
- **Orientação da oferta formativa superior às necessidades específicas dos roadmaps tecnológicos diferentes sectores/clusters industriais**;
- **Alinhamento das linhas de investigação e desenvolvimento estratégico com as linhas de inovação produtiva através da definição de linhas específicas para os diferentes sectores de maior impacto na economia real**: elaboração de um plano nacional de linhas de inovação entre as

unidades de I&D (academia), unidades de interface/transferência tecnológica e empresas especificamente para o desenvolvimento de novos produtos, e de novos processos de fabrico e tecnologias industriais;

- **Promoção da participação das entidades do SCT e empresariais nacionais em clusters de associações tecnológicas internacionais, e desenvolvimento de programas de apoio para a divulgação do produto e tecnologia nacional segundo um plano estratégico orientado ao processo produtivo e ao produto sustentável;**
- **Desenvolvimento de indústria nacional de bens de equipamento assente em ferramentas inteligentes adaptáveis diferentes indústrias produtivas**, tendo por base know-how em robótica avançada e desenvolvimento de software (i.e. *machine learning*);
- **Modernização da infraestrutura produtiva** recorrendo a novas tecnologias e equipamentos que integrem os novos paradigmas de *self-assessment*, *self-monitoring*, sustentabilidade e gestão inteligente e autónoma das linhas produtivas;
- A introdução de novos materiais, processos de fabricação, descentralização de locais de fabrico levanta também questões do ponto de vista ambiental, para os quais têm de ser criadas **metodologias de processamento de resíduos e criação de legislação específica transversal a todos os países envolvidos;**
- Necessidade de **aumento do investimento público e privado, com maior participação das PMEs na adoção de novas tecnologias, ajustamento de processos para aumento da eficiência produtiva e promoção de investigação multidisciplinar a nível europeu**, tendo em consideração a especificidades de cada zona;
- **Maior integração de sistemas e subsistemas até à criação do produto final**, com uma maior aproximação ao mercado a jusante do processo, e conseqüentemente aumento do valor.

### 5.3. Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria



#### 5.3.1. Desafios e Objetivos para Portugal até 2030

Assente numa política de modernização industrial, a indústria portuguesa tem enfrentado nos últimos anos alterações significativas ao nível dos processos, dos produtos e do seu modelo de negócio.

O recurso a tecnologias de informação, comunicação e localização e robótica, para controlo de processos e maior proximidade com o cliente, promove a eficiência pela otimização de recursos energéticos, de matérias-primas e de redução de custos, assim como uma maior flexibilidade, pelo desenvolvimento de produtos personalizados, adaptados às necessidades de cada cliente individual.

Por outro lado, a incorporação das tecnologias digitais, de novos processos e de novas matérias-primas, como são exemplo as estruturas 2D, 3D e as nanopartículas, permite a melhoria da sua performance, assim como o aparecimento de novos produtos.

Esta modernização industrial permite ainda uma alteração significativa ao nível do modelo de negócio, uma vez que muda consideravelmente a forma como a indústria coloca um produto ou serviço à disposição do seu cliente, a forma como consegue monitorizar e controlar os seus processos de fabrico, assim como a forma como interage com indústrias do mesmo ou de outros setores de aplicação.

A indústria depara-se assim com uma nova era, uma era revolucionária que promove otimizações no já existente (inovação acrescentada) como também disrupções e mudanças mais radicais de processo, produto e modelo de negócio (inovação disruptiva).

O principal desafio é tornar este processo evolutivo eficiente em recursos, sejam eles económicos, ambientais ou sociais. Para isso, as **linhas orientadoras para 2030 são as seguintes**:

- Combinar flexibilidade e eficiência nos processos industriais;
- Reduzir/Eliminar desperdícios de recursos (matérias-primas, materiais auxiliares e acessórios, energia e água);
- Agilizar tempos de entrega/eliminar paragens processuais;
- Potenciar a inovação incremental e a inovação disruptiva em tempo e custos mais reduzidos;
- Promover modelos de negócio com base na capacidade de produção customizada (servitização).

Os 5 desafios que se colocam serão a base dos trabalhos de investigação e inovação ao nível dos processos, produtos e de modelo de negócio, que alavancarão as oportunidades e aplicações, para uma indústria portuguesa capaz de gerir de forma eficiente os seus recursos.

### **5.3.2. Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos**

Ao longo dos últimos anos foram vários os progressos tecnológicos que permitiram a introdução de significativas melhorias na área da gestão de recursos, tornando-a cada vez mais eficaz. Dos exemplos conhecidos, destacam-se os seguintes:

- Reaproveitamento de matérias-primas e materiais resultantes de desperdícios no desenvolvimento de produtos novos ou melhorados (ex.: produção de artigos têxteis a partir de poliéster reciclado proveniente do PET das garrafas de plásticos – equipamentos de futebol no mundial de 2014);
- Diminuição do consumo de água por alteração conceptual de processos (por exemplo, pela substituição de revestimentos de cura térmica por revestimentos de cura em UV ou ainda pela substituição de operações mecânicas com elevado consumo energético por processos biológicos) ou pelo seu reaproveitamento no ciclo processual por recurso a tecnologias mais eficientes;
- Utilização de resíduos e efluentes para geração de energia através de novos ou melhorados processos;
- Sistemas de armazenamento e reaproveitamento da energia elétrica excedente, para nivelar a intermitência de fontes de energia renováveis (e.g. armazenagem de energia elétrica sob a forma de energia química dos produtos produzidos, durante os períodos em que há um desequilíbrio entre produção (excesso) e consumo de energia);
- Utilização da legislação como motor e estímulo para o desenvolvimento de novos e melhorados produtos e processos, (e.g. substituição de utilização de crómio hexavalente; substituição da tecnologia de mercúrio pela tecnologia de células de membrana no processo de eletrólise de sal, SGCIE - sistema de gestão dos consumos intensivos de energia);
- Construção de redes colaborativas que permitiram o desenvolvimento de bolsas de doutoramento em ambiente empresarial (BDE), permitindo o aumento do número de recursos altamente qualificados nos quadros das empresas;



- Utilização do conhecimento gerado nos meios académicos para aplicação de ferramentas de modelação e simulação no planeamento de processos industriais, com foco na eficiência da utilização de recursos;
- Integração de sistemas de controlo e monitorização que permitam melhorar aspetos de eficiência de recursos e nível de impacto ambiental gerado.
- Possibilidade de manutenção à distância seja de assistência ou colaborativa por parte do fabricante ou fornecedor
- Aplicação dos conceitos de eco design e LCA (avaliação do ciclo de vida), assim como LEAN e Kaizen, no desenvolvimento de novos produtos e/ou processos.

### 5.3.3. Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Tendo por base os desafios e os objetivos que se colocam à Indústria para uma gestão eficiente em recursos e processos, e o trabalho que tem sido desenvolvido nos últimos 10 anos nesta área, as oportunidades e aplicações para uma Indústria Inovadora podem listar-se da seguinte forma:

- Aplicar, de forma intensiva, **ferramentas de modelação e simulação** no projeto de novos produtos e planeamento de processos industriais, com foco na eficiência da utilização de recursos. Transferência de tecnologia existente e desenvolvimento de novas e melhoradas ferramentas de modelação e simulação orientadas a diferentes setores de aplicação;
- **Minimizar a geração de resíduos**, na sua forma líquida, gasosa e sólida, por forma a obter produtos com menores impactes ambientais negativos. **Estratégias de Eco-design, a avaliação do ciclo de vida, LEAN, kaizen**, entre outras, continuarão a ser ferramentas importantes para uma gestão eficiente no desenvolvimento de novos produtos e processos, assim como na otimização dos existentes;
- Fomentar e materializar abordagens em **simbiose industrial multissetorial**, para o reaproveitamento de matérias-primas e materiais resultantes de desperdícios da indústria. Os centros de transferência de tecnologia podem ser o elo entre indústrias de diferentes setores;
- **Utilização de resíduos e efluentes para geração de energia**, através de novos ou melhorados processos;
- Integração plena de **sistemas de manutenção preditiva**, que permitam reduzir custos e recursos com paragens processuais inesperadas;
- Desenvolvimento de sistemas que permitam, em função dos alertas gerados, evitar desperdícios de recursos e mitigar distúrbios que ocorram no sistema;
- Desenvolvimento de **modelos logísticos eficientes e avançados**, que permitam reduzir barreiras físicas e geográficas;
- Rentabilização de recursos através da partilha de ativos, alargando a aplicação de abordagens em simbiose industrial e em colaboração com centros de interface e meio académico;
- Promoção de **modelos de negócio com base na produção customizada (servitização)**,

incluindo a criação do design de interface digital que faça a ponte entre o utilizador e a produção industrial;

- Construção de **redes colaborativas que permitam influenciar e controlar os recursos despendidos por influência de prescritores, clientes ou fornecedores**. Os Clusters de Competitividade, que criam estratégias e geram sinergias nas cadeias de valor que representam, são um bom exemplo de agregação de sectores e fileiras;
- Recurso à área do **design** como disciplina integradora de valências que permite uma abordagem mais holística ao processo de desenvolvimento de novos produtos, gerando futuros cenários de utilização e antevendo as necessidades do mercado.

#### **5.3.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro**

Para garantir a operacionalização da agenda proposta é fundamental manter e apostar nos seguintes fatores críticos:

- **Ferramentas de gestão de apoio à decisão em tempo real**, capazes de integrar e aproveitar a elevada disponibilidade de dados, numa realidade de plena digitalização dos sistemas produtivos e da gestão da informação;
- **Gestão da interface homem-máquina** no planeamento e escalonamento dos processos industriais;
- **Sistemas inteligentes de monitorização e controlo** que permitam aferir o estado de equipamento, de forma não intrusiva e sem necessidade de paragens processuais;
- **Acesso a sistemas de pequena escala e de prototipagem** que facilite o processo de design de novos produtos e a decisão de mudança de tecnologia tradicional para outra mais eficiente;
- **Alinhamento entre a missão e a função dos centros de conhecimento com os objetivos estratégicos da indústria**;
- **Facilidade de acesso a programas de financiamento que permitam colaboração da indústria com os centros de interface e incentivos à contratação de recursos altamente qualificados**, incluindo o desenvolvimento de bolsas de doutoramento em ambiente empresarial;
- **Alinhamento da legislação para uma gestão eficiente de recursos**;
- **Sistemas de apoio à decisão para avaliação de cenários alternativos de *trade-off* entre OPEX e CAPEX incorporando a componente de risco**;

### **5.4. Robótica Industrial e Sistemas Inteligentes de Manufatura**

#### **5.4.1. Desafios e Objetivos para Portugal até 2030**

Os padrões de consumo têm mudado em muitos setores, passando de produção em massa para a produção personalizada e em pequenas séries. O tempo que decorre entre a produção de um bem e a sua colocação no mercado é cada vez mais curto. A importância do retorno imediato dos consumidores e a sua utilização para mudar os parâmetros de produção não são compatíveis com grandes séries, grandes stocks e



tempos longos entre a produção e o consumo. É importante ajustar rapidamente a produção de modo a responder a solicitações do mercado. Tal não é compatível com produções em massa e a grandes distâncias. Soma-se a isto a pressão das sociedades ocidentais para o consumo de produtos, a criação de emprego e de bem-estar social.

Neste contexto, a indústria necessita de ser atrativa e eficiente. A produção tem de ser flexível, assente em mão de obra muito especializada e máquinas flexíveis e reprogramáveis rapidamente. Face a estes desafios, aparecem os sistemas ciber-físicos, os robôs colaborativos, os sistemas de programação rápida, a sensorização, a aprendizagem e correção automáticas, a manipulação inteligente, a mobilidade e modularidade como solução, integrados em ambientes de manufatura inteligentes, entre outros.

Algumas vantagens dos sistemas robóticos avançados advêm de poderem operar lado a lado com os humanos de forma segura, envolverem uma programação mais fácil, terem sensores integrados que detetam esforços excessivos, reposicionamento de objetos, a presença de humanos e a conjuntura do espaço envolvente, entre outras.

A tecnologia da robótica colaborativa existe e sofre melhoramentos constantes. Neste momento, torna-se também necessário dotar os robôs de capacidades cognitivas e de “inteligência” para que possam apreender e representar o mundo que os rodeia e possuírem alguma forma de aprendizagem, afinação e correção automáticas. Isto materializa-se através do reconhecimento de objetos, humanos, obstáculos, gestos, voz, mas também pela verificação imediata e automática do grau de qualidade atingido no processamento de cada peça de modo a tomarem-se medidas corretoras de imediato e aprender-se a evitar resultados indesejáveis.

Para se conseguir responder aos desafios da indústria devem ser considerados vários **objetivos**. Estes relacionam-se com melhorias no design e **ergonomia das estações de trabalho**, com a **execução de tarefas de montagem de forma autónoma, aumento da produtividade** para que os **trabalhadores executem tarefas de maior valor acrescentando**, deixando para **as máquinas as tarefas de menor valor, repetitivas** e, por vezes, perigosas ou causadoras de problemas de saúde.

Ainda neste quadro, os **sistemas produtivos** deverão ser **ágeis, dotados de maiores níveis de adaptabilidade e inteligência, integrando redes de sensores inteligentes em sistemas de monitorização e ligando equipamentos, robôs, aplicações informáticas, sistemas legados e produtos e objetos inteligentes, alavancado o potencial ao nível da digitalização, do Big Data e da inteligência artificial e implementação de conceitos de sensing enterprises**. Serão **sistemas evolutivos** e capazes de uma **reconfiguração ágil**, nomeadamente de **células flexíveis de produção avançada e micro-fábricas**, com **sistemas de controlo e monitorização** potencialmente distribuído, implementando e alavancando **conceitos de servitização da produção industrial**.

#### **5.4.2. Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos**

Nos últimos anos têm surgido sistemas mecânicos complacentes, permitindo ter máquinas mais seguras e compatíveis com a presença de operadores humanos no espaço comum de trabalho. Começam a aparecer novas maneiras de programar e ensinar os robôs e outras máquinas de uma forma mais fácil e rápida. Os robôs, encarados como sistemas mecânicos com movimento dotados de controlo autónomo e/ou remoto, são uma máquina flexível por definição. No entanto, atualmente, esta flexibilidade é ainda limitada, dado que repetem a mesma tarefa de forma contínua, têm elevados tempos de *setup*, difíceis de integrar com diversos sensores e atuadores, trabalham dentro de barreiras para proteção dos seres humanos, impedindo assim a interação e contacto direto. Estes robôs industriais tradicionais estão essencialmente instalados nas grandes empresas, executando tarefas como de soldadura ou manipulação. Nos últimos anos, à medida que os robôs se tornam mais simples de utilizar, e mais fáceis de programar, verifica-se um grande investimento por parte das PMEs portuguesas nestes robôs para diversas tarefas.

Ao longo dos anos, a investigação na área da robótica industrial provou que genericamente a solução mais eficiente em termos de produção industrial flexível não é ter apenas mão-de-obra humana ou apenas máquinas (automação total). A solução ideal é conseguida com a combinação do trabalho produzido por humanos e por sistemas de automação, extraindo o melhor de cada elemento, ou seja, a capacidade cognitiva e de coordenação dos humanos com a precisão e repetibilidade dos robôs e máquinas inteligentes. Um desafio importante passa por dotar-se esses equipamentos da capacidade de poderem operar em ambientes não estruturados com tempos de *setup* reduzidos e totalmente flexíveis. Encarando os robôs de uma forma mais lata como células produtivas tal implica a possibilidade de humanos e sistemas mecânicos dotados de movimento partilharem o mesmo espaço.

Existem atualmente alguns sistemas de geração automática de programas a partir de CAD e a partir de simulações efetuadas em computador. Estes sistemas não cobrem ainda todas as áreas de aplicação de robôs, mas demonstram uma evolução promissora, sendo, contudo, mais comuns em máquinas ferramentas.

O *deep learning* (aprendizagem profunda), *reinforcement learning* (aprendizagem por reforço) e *task learning* (aprendizagem de tarefa) representam técnicas que começam a ter evoluções interessantes e com cada vez mais aplicabilidade na indústria, quer para a adaptação automática dos robôs e máquinas inteligentes, quer para uma mais correta interface Homem-Máquina. A tipologia de sensores evoluiu bastante com o aparecimento de sensores 3D e RGBD cada vez mais fiáveis e baratos, e integrados em redes de sensores. O aumento do poder computacional presente em cada sistema teve uma evolução muito significativa nos últimos 10 anos, permitindo o processamento de cada vez mais informação em cada vez menos tempo.

A navegação dos robôs móveis, mormente os AGVs, começou a ser efetuada de diferentes formas, não se limitando à fita magnética ou à localização por laser com base em refletores. Apareceram recentemente sistemas de localização com base em contornos (evitando os refletores), baseados em laser, em visão artificial, em sensores 3D e, acima de tudo, utilizando sensores cada vez mais económicos, precisos e fiáveis.

A facilidade de integração com os diversos subsistemas e seus componentes aumentou significativamente. Diversas *frameworks* para desenvolvimento de sistemas robóticos foram aparecendo e evoluindo, tendo uma delas particular sucesso: o ROS. Esta ferramenta permite, de uma forma muito mais fácil, o desenvolvimento cooperativo de *software*, a interligação de sistemas, sensores e atuadores e o reaproveitamento de código já existente. De uma forma mais rápida conseguem-se desenvolver sistemas extremamente complexos de uma forma que anteriormente era muito difícil. São sintomas desta tendência importante o surgimento do ROS-Industrial como uma extensão do ROS para integrar equipamentos industriais em redes mais vastas, como laboratórios ou sistemas remotos de computação ou outros, o que há pouco tempo era impensável de se fazer facilmente.

Adicionalmente e dada a ênfase colocada ao nível da digitalização e da 4ª revolução industrial, assiste-se também ao desenvolvimento e exploração de conceitos de *internet das coisas* e sistemas ciber-físicos prevendo aplicações ao nível de sistemas avançados produtivos inteligentes e distribuídos, evidenciando necessidades ao nível da interoperabilidade de sistemas e plataformas, integração e desenvolvimento de sensores avançados, *smart objects* que capacitem equipamentos e sistemas, entre outros, implicando desenvolvimentos ao nível das arquiteturas, tecnologias de base, modelos de serviço, plataformas de computação, sistemas e plataformas de suporte à configuração dos sistemas produtivos, etc.

Paralelamente, assiste-se ainda ao desenvolvimento de ferramentas avançadas de simulação e virtualização, de monitorização on-line de técnicas de fabrico e metodologias multi-dimensionais para o projeto de produtos, serviços e sistemas (*Design-for-X*, *DfX*, ou *Design-for-eXcellence*) procurando melhorar de forma simultânea e holística, desde a fase de projeto, englobando ainda as diversas fases do ciclo de vida dos produtos-serviços-sistemas (incluindo a gestão de múltiplos ciclos de vida, a sua

reconfiguração e adaptação), e estabelecendo ligações à gestão dos recursos empresariais, com o objetivo de melhorar a produtividade, flexibilidade e eficiência dos sistemas produtivos.

#### 5.4.3. Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Em termos de inovação, devem desenvolver-se as questões relacionadas com a colaboração e proximidade entre máquinas e operadores humanos na indústria, quer em termos de espaço, quer em termos de interação mútua, bem como a adaptabilidade dos sistemas robóticos, a sua facilidade na reprogramação, a sensorização complexa e inteligente, o facto de os sistemas robóticos aprenderem e reconfigurarem-se automaticamente. Deve haver uma especial atenção na investigação de novos métodos, tecnologias e abordagens que, embora não sejam disruptivas com o estado da arte, aumentam significativamente a penetração e a aplicação cada vez mais vasta dos sistemas robóticos e de manufatura inteligente nas PME's. Refere-se, nomeadamente, a investigação de novas formas, geralmente com um tratamento mais cuidadoso dos dados sensoriais, de se realizarem tarefas com robôs e máquinas inteligentes, mas com custos associados bastantes mais baixos do que os que existem atualmente. Incluem-se aqui custos de equipamento, de instalação, de colocação em funcionamento, de formação e de manutenção.

Os sistemas de manufatura devem ser cada vez mais fáceis de utilizar, tornando-se possível reprogramá-los e reconfigurá-los de uma forma simples e rápida, de modo a minimizar a necessidade de assistência técnica muito especializada e dispendiosa.

Em termos de inovação, deve-se avançar no desenvolvimento dos sistemas robóticos e de manufatura inteligente os quais sendo, embora, cada vez mais complexos, possam parecer, ao utilizador e cliente final, cada vez mais simples, práticos, fáceis de aplicar e manter, e a custos também compatíveis com a maioria das PME's.

Assim, enumeram-se e descrevem-se, de seguida, as áreas relevantes de inovação futura no campo da Robótica Industrial e Sistemas Inteligentes de Manufatura:

##### - **Robótica colaborativa**

Robôs (leia-se sistemas produtivos dotados de movimento) e humanos que operam lado a lado de forma segura e interativa; Interfaces homem-robô que permitem o controlo e tele-operação de forma natural, por exemplo usando gestos, voz e interação por contacto físico; Robôs que conhecem a posição relativa do humano no espaço e planeiam trajetórias eficientes e seguras. A colaboração pode ser homem-robô ou robô-robô. As aplicações principais serão em operações de montagem, manipulação, acabamento, embalagem, transferência de objetos entre máquinas e pessoas, etc.;

##### - **Robótica móvel inteligente**

Robôs que navegam em ambiente não estruturado, com planeamento autónomo e robusto de trajetórias; Colaboração de robôs móveis capazes de decisão direta entre unidades individuais, mas também integradas num sistema de gestão de frotas. A manipulação móvel é também uma linha incontornável trazendo novos desafios de navegação cooperativa e de segurança; Sistemas de localização mais eficientes e fáceis de utilizar; AGVs avançados com custos cada vez mais reduzidos e aplicabilidade cada vez mais alargada (AGVs flexíveis). As aplicações principais serão em: operações logísticas, transporte de produtos em linhas de fabrico, *kitting*, entre outros;

##### - **Sensorização/Redes de sensores inteligentes em manufatura e big data**

Sensores para captar o estado dos mais diversos ambientes, mais ou menos estruturados (incluindo sistemas de visão, sistemas 3D, ou *wearables*), para monitorização de processos, sistemas e serviços, eventualmente distribuídos, para o desenvolvimento e dotação de capacidades autónomas de diagnóstico, perceção de contexto e auto-otimização de sistemas e equipamentos de forma a influir no aumento de desempenho e fiabilidade do sistema de produção. Será importante a fusão sensorial e sensores imunes a campos magnéticos, oclusões, etc. Servirão ainda para a interação com robôs e máquinas inteligentes, para a adaptabilidade automática das células de manufatura, assim como para tarefas de inspeção, controlo dimensional e controlo de qualidade. Ao grande aumento das

capacidades sensoriais corresponde um crescimento exponencial de dados, o que requer novas técnicas de visualização e análise, nomeadamente técnicas desenvolvidas na área de “big data”. Para lidar com tais volumes de dados importa também uma melhor integração de técnicas de computação na nuvem com os sistemas de manufatura;

- **Sistemas adaptativos de elevada eficiência/Células flexíveis**

Desenvolvimentos face à edificação de sistemas adaptativos e ágeis de produção serão necessários. Inclui o desenvolvimento, desenho e operação de células flexíveis avançadas constituídas por um conjunto de equipamentos multifunções com capacidade de configuração e adaptabilidade ao tipo de operações, às formas geométricas dos materiais a serem processados, ao volume e *mix* de produção, capazes de lidar e adaptarem-se aos *produtos inteligentes* em manufatura através de sistemas sensorização avançada. É necessário, ainda, Implementar conceitos inovadores produtos-serviço-sistemas ao nível das tecnologias de produção e de micro-fábricas, e.g. dotadas de tecnologias híbridas de produção e dispendo de um conjunto de serviços que permitam a integração vertical de processos e a sua ligação em rede, incorporando, integrando e implementando sistemas robóticos que se adaptem às mais diversas geometrias e a diferentes posições dos objetos a trabalhar, controlando em simultâneo a força a ser aplicada, de tal forma que possam permitir uma produção totalmente flexível e personalizada, evitando a excessiva rigidez no posicionamento quer do próprio equipamento quer das peças a trabalhar. Assim, controlam eficazmente a força aplicada durante a operação e alteram as trajetórias de acordo com o posicionamento das peças que deixa de ser fixo. A criação de sensores e ferramentas para suportar a implementação de sistemas de controlo distribuídos, que facilitem o desenvolvimento rápido de sistemas de topologias de produção distribuída, por exemplo, em que vários passos da manufatura estão em instalações diferentes/remotas. É relevante a existência de ferramentas descritas que suportem a modelação e simulação/validação e tolerância a falhas dos referidos sistemas que devem ter a capacidade de serem dinamicamente reconfigurados por via da sensorização local, através de tecnologias de *machine learning*/IA, de modo a dinamicamente proporcionar balanceamento de carga por várias unidades de produção distribuídas e adaptativas, ou para obter tolerâncias a falhas.

- **Ambientes e ferramentas virtuais/Sistemas ciber-físicos em manufatura**

Virtualização dos sistemas de produção locais e distribuídos e desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, baseados em modelos de simulação e otimização, para o desenho e operação de sistemas de produção. Inclui o desenvolvimento e implementação de metodologias e ferramentas: de simulação, otimização e previsão, orientadas às fases de desenho e operação de sistemas produtivos flexíveis e de elevado desempenho, a sua gestão integrada e sustentável dos sistemas produto/processo/produção/serviço; modelos virtuais e holísticos, que integrem a representação de sistemas automatizados, células de fabrico, linhas de produção, fábricas e redes logísticas, ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos (de suporte estratégico a decisões nos diferentes níveis, tais como: seleção de tecnologias, desenho de *layouts* e processos, planeamento da produção, e desenho e planeamento de redes logísticas); o interface entre os modelos virtuais e os sistemas reais, de forma a assegurar a monitorização em tempo real do estado do chão de fábrica, e a permitir o controlo e reconfiguração dos sistemas de produção. Inclui ainda a utilização de realidade aumentada para apoio a operações, e a utilização de projeções indicativas para os operadores, integrando a contribuição de conceitos de usabilidade e interface homem máquina. Inclui-se ainda, a formação na utilização ou manutenção de máquinas e sistemas em realidade virtual e simuladores de modo a diminuir o tempo de utilização ou paragem das máquinas produtivas durante a formação de novos operadores ou durante a sua manutenção.

- **Modularidade, mobilidade e Plug and Play**

Deve-se prever robôs e outras máquinas produtivas que possam ser alocados a diferentes postos e tarefas ao longo da linha de produção assumindo, com um *setup* muito baixo, as novas funções e tarefas num novo posto de trabalho. Assim, os recursos produtivos podem ser dinamicamente realocados ao longo do sistema de produção conforme as necessidades. Este é um tópico importante na integração dos robôs e outras máquinas com o sistema produtivo em seu redor.

Desenvolvimento de equipamentos, sistemas e soluções que dotem os sistemas produtivos de capacidades de flexibilidade, reconfigurabilidade, adaptação e evolução. Inclui: desenvolvimentos e evoluções ao nível de *objetos inteligentes*, para integração em equipamentos atuais (*retrofitting*) e sistemas ligados e ligação a plataformas de gestão, supervisão e monitorização; novas soluções, tecnologias e sistemas para a modularidade, flexibilidade e integração de equipamentos e sistemas. Este é um tópico importante na integração dos robôs e outras máquinas com o sistema produtivo em que se inserem.

- **Inteligência artificial, aprendizagem e melhoramento de tarefas/Sistemas evolutivos**

Desenvolvimento e integração de plataformas avançadas de computação e de soluções baseadas em inteligência artificial explorando o potencial e o valor da informação recolhida por redes de sensores inteligentes, *smart objects* e equipamentos e sistemas, para a auto-adaptação e reconfiguração de processos, parâmetros e sistemas. Ao nível da robótica industrial, incluirá robôs e máquinas inteligentes que aprendem ou melhoram as suas tarefas à medida que as executam. Estes equipamentos devem ter habilidades específicas para diversos processos tecnológicos. A base destes sistemas passará por técnicas de *deep learning*, *reinforcement learning* e controlo/inspeção em tempo real.

- **Manipulação com reconfiguração rápida**

Desenvolvimento de ferramentas e técnicas de *setup* rápido e adaptativo tais como *garras* modulares e flexíveis. Exploração da integração e do controlo com precisão dos *soft-materials* e dos sistemas de transmissão por cabos. Sistemas de *grasping* que decidem automaticamente a melhor forma de pegar numa determinada peça tendo em conta a sua geometria e o seu posicionamento. Estas facilidades podem qualificar e robustecer os processos de *bin-picking*. Robôs móveis capazes de trabalhar em equipa e automaticamente se reconfigurarem e serem capazes de cooperar no transporte de objetos de grandes dimensões.

- **Integração na Internet das Coisas/ Sistemas inteligentes de manufatura (Indústria 4.0)**

Desenvolvimento e exploração de conceitos de internet das coisas e sistemas ciber-físicos, fazendo uso dos últimos progressos ao nível da tecnologia de sensores, desenho inteligente de sistemas, sistemas embebidos, tecnologias cognitivas e controlo avançado, ao nível do desenvolvimento de arquiteturas de CPPS que sejam escaláveis e que respondam às necessidades dos sistemas de manufatura inteligente e adaptáveis, e possibilitem uma visão integrada de todos os sistemas de produção, possibilitando, dinamicamente e de um modo contínuo, uma atuação e melhoria dos processos de desenho, configuração, monitorização, manutenção da capacidade operacional da manufatura. Possibilitará ainda a constituição de sistemas inteligentes capazes de aprender a partir da sua própria experiência e de reutilizar o conhecimento adquirido, alavancando e extraíndo o potencial da computação em nuvem. Os sistemas inteligentes de manufatura, quer sejam baseados em manipuladores robóticos, quer sejam baseados em robôs móveis e outros sistemas produtivos, devem ser fontes de informação e serviços integradas na Internet das Coisas, constituindo sistemas ciber-físicos distribuídos.

Os robôs móveis, vistos como sensores móveis que aproveitam a execução de trajetórias, por exemplo, no transporte de materiais, para simultaneamente inspecionar e mapear zonas por onde passam, gerando dessa forma informação útil para outros fins. Todos os recursos de manufatura deverão, desta forma, ser ligados em rede, permitindo decisão e controlo distribuídos, bem como acesso remoto. Tal contexto ciber-físicos permitirá o desenvolvimento de funcionalidades integradas com maiores níveis de inteligência (tomada de decisão, autoconfiguração, monitorização, diagnóstico, recuperação de erros).

- **Programação rápida de manipuladores**

Para a integração de manipuladores em sistemas de produção com pequenas séries, customizadas e com muita variabilidade, a sua programação deve ser muito rápida e simples. Explorar técnicas de programação por demonstração, por gestos, por voz e utilizando também informação CAD. Técnicas de geração automática de programas apenas com informação CAD. Criação de ferramentas de

integração entre informação CAD estática e informação local dinâmica baseada em sensorização para adaptabilidade automática e em tempo real dos sistemas de produção às restrições locais. As próprias interfaces humano-robô devem contribuir para esta facilidade e versatilidade do processo de programação e reprogramação do robô. Utilização de simuladores e programação off-line, alguns dos quais capazes também de gerar código automaticamente.

- **Digitalização**

A integração de todos os sistemas de manufatura num ambiente ciber-físicos deverá levar a modelos integrados de informação sobre produtos, processos e recursos de manufatura. Esses modelos, acessíveis em rede, permitirão novas formas de interação Homem-Sistema de Manufatura, o desenvolvimento de novas técnicas de otimização global, e a inclusão de novos serviços de valor acrescentado.

- **Microfábricas**

O conceito de microfábrica transportável em poucos contentores e fácil de montar e colocar em funcionamento abre uma série de novas possibilidades. Por exemplo em construção civil existem fases da construção que beneficiariam da presença de uma microfábrica a produzir os itens necessários em vez de serem produzidos à distância e transportados. Passada essa fase da construção, a microfábrica poderia ser transportada para outra obra e assim sucessivamente. Outro exemplo de aplicação é a manufatura de componentes/produtos para grandes eventos.

- **Segurança**

A interligação dos sistemas de produção e manufatura à internet coloca problemas sérios de segurança. A interligação deve ser segura e os sistemas devem ser redundantes para que em caso de um ataque se consigam proteger e/ou repor o normal funcionamento rapidamente.

- **Produtos inteligentes**

A progressiva introdução de produtos inteligentes com capacidade de autoidentificação e interação com o sistema de manufatura e meio envolvente, estendidos com serviços associados ao produto físico, levando a maior valor acrescentado. Tais produtos, dotados de capacidades sensoriais, de processamento e de comunicação, levarão à disponibilização de informação sobre o produto ao longo de todo o seu ciclo de vida e facilitando a introdução de novos serviços.

- **Sistemas produto-serviço**

Acompanhando as tendências atuais, importa complementar os sistemas de manufatura com o design, desenvolvimento e provisão de serviços que estendem o valor dos produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os sistemas de manufatura inteligentes devem, assim, ser posicionados numa lógica de cadeia de valor, constituindo sistemas produto-serviço.

#### **5.4.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro**

Atualmente, e em particular **para uma PME, os investimentos em tecnologias e sistemas avançados de produção ainda é relativamente elevado e difícil de amortizar em muitas das situações.** Assim, a evolução futura dos custos associados deve ir no sentido da sua forte diminuição. Os custos associados aos salários, as implicações ao nível dos sistemas legais, a atenção dada à segurança e saúde dos trabalhadores, e ao valor acrescentado nas operações realizadas também é um fator crítico. Se a indústria basear a sua competitividade em baixos salários, com tarefas de baixo valor acrescentado, com pouco cuidado com a ergonomia dos postos de trabalho, com a saúde e segurança dos trabalhadores, então será muito difícil ter-se uma evolução para uma indústria mais moderna, ágil, robotizada e onde os trabalhadores são colocados a executar apenas tarefas de elevado valor acrescentado que aproveitem as suas capacidades cognitivas, de destreza, de mestria e de criatividade.

**A introdução destas tecnologias e sistemas no processo produtivo tem impacto na reafecção das qualificações dos operadores humanos.** Deve ser demonstrado que, com a sua introdução, os



trabalhadores terão tarefas e atividades mais estimulantes e seguras, dentro e fora da empresa, aumentando a produtividade, diminuindo os acidentes de trabalho e os problemas de saúde relacionados com o posto de trabalho.

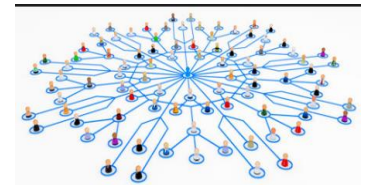
Para este passo de modernização da indústria ter possibilidade de ocorrer nos próximos tempos, são essenciais um **forte apoio à investigação** nesta área acompanhado de **um forte incentivo à transferência de tecnologia das instituições de investigação e desenvolvimento e um apoio financeiro à modernização da indústria**. É também muito importante o **apoio à criação de novas empresas tecnológicas associadas à inovação e aos novos produtos e serviços resultantes da aplicação industrial da investigação realizada**.

Por outro lado, os problemas a resolver são cada vez mais multidisciplinares envolvendo simultaneamente diversas áreas do projeto, design, engenharia eletrotécnica, dos computadores, da informática, da mecânica, dos novos materiais, dos processos, da gestão industrial, etc. É, portanto, essencial que as **diferentes instituições de investigação e desenvolvimento, juntamente com empresas, se agreguem nos clusters de competitividade para o uso das competências e capacidades necessárias para a resolução dos desafios colocados**.

## 5.5. Redes colaborativas e a produção industrial centrada no Ser Humano

### 5.5.1. Desafios e Objetivos para Portugal até 2030

O advento da 4ª revolução industrial está a mobilizar um considerável número de esforços e iniciativas, virtualmente em todas as áreas geográficas. A indústria nacional necessita aproveitar adequadamente este momento de transformação para o desenvolvimento e endogeneização de novos modelos de produção que tenham em atenção as pessoas, suas comunidades e seu papel.



O efeito catalisador da Indústria 4.0 e termos relacionados – Economia 4.0, Agricultura 4.0, Saúde 4.0, Banca 4.0, etc. – permite a mobilização de recursos e apoios financeiros e políticos que, naturalmente, despertam a atenção dos sectores mais inovadores. Mas num horizonte temporal duma década importa definir uma estratégia que persista para além da curta vida dos “slogans” da moda. Tal como considerado na vertente de investigação, há que ter em conta a evolução do perfil demográfico da nossa sociedade, a aceleração de eventos disruptivos, e o impacto dos fatores tecnológicos, nomeadamente a hiperconectividade entre sistemas, a entrada das chamadas tecnologias exponenciais, e a complexidade resultante da interpenetração entre os mundos físico e cibernético. Paralelamente, e num contexto de economia aberta, há que ter presente a necessidade de atuar num mercado global e participar nas grandes cadeias de valor.

Estes desafios permitem induzir importantes objetivos de inovação, donde se destacam:

- **Promover a economia em rede e os sistemas colaborativos** a todos os níveis. O conceito de “colaboração” é o pilar fundamental em todas as dimensões da Indústria 4.0:
  - Na integração vertical – colaboração entre humanos e máquinas, colaboração entre máquinas e sistemas cada vez mais inteligentes e autónomos, etc.;
  - Na integração horizontal – colaboração entre todos os atores nas cadeias de valor, materialização de ecossistemas de negócio, otimização global, colaboração no suporte à resiliência, etc.;
  - Na engenharia – colaboração como base da co-inovação e envolvimento de consumidores na criação de novos produtos, no suporte à provisão de serviços de valor acrescentado ao

longo do ciclo de vida dos produtos, etc.;

- Na aceleração da manufatura – colaboração para o envolvimento de novos atores representando as tecnologias emergentes, a exploração de mobilidade e sistemas nómadas, etc.;
  - Na digitalização de produtos e serviços, incluindo a noção de produto inteligente, que requerem a colaboração entre múltiplos atores e a criação de ecossistemas associados;
  - Nos novos modelos de negócio – que estendem a noção de integração horizontal e visam explorar cadeias de valor globais, integrando indústria e consumidores/comunidades em processos colaborativos de inovação (cocriação).
- Criar **estímulos a atividades de elevado valor cognitivo**, combinando a Inteligência Artificial e a criatividade humana e visando um melhor posicionamento das empresas nacionais nas cadeias de valor. Deve também considerar-se a exploração das potencialidades da língua portuguesa para uma mais efetiva articulação com a CPLP.
  - Criar **competências em redes colaborativas e produção centrada no ser humano**, nomeadamente numa colaboração entre indústria e academia, a fim de facilitar o acrescentar de valor num quadro operacional caracterizado por crescente funcionamento em rede e novos modelos e suporte tecnológico à colaboração humano-máquina/sistema.
  - **Experimentar e validar novos modelos de trabalho com novas formas de produção centrada no humano**. Um efetivo processo de transformação da indústria não pode ser visto numa perspetiva exclusivamente tecnológica, requerendo antes uma abordagem sociotécnica e a criação duma nova cultura industrial de participação e colaboração. Para tal importa lançar experiências piloto que permitam entender na prática as condicionantes e características de tais modelos e fornecer uma base de avaliação empírica.

### **5.5.2. Principais desenvolvimentos tecnológicos últimos 10 anos**

Muitas das novas tecnologias que suportam a Indústria 4.0, e em particular as redes industriais colaborativas e os sistemas de produção centrados no humano, atingiram nos últimos anos um nível de maturidade e de convergência que levaram, por isso mesmo, à perceção de que estamos na transição para uma nova revolução industrial. Citam-se, por exemplo, as tecnologias de sistemas distribuídos e computação móvel, plataformas colaborativas, integração de inteligência (e aprendizagem automática) em máquinas e dispositivos, interoperabilidade entre sistemas, redes de sensores, computação na nuvem, sistemas flexíveis e ágeis de produção, e novas tecnologias de suporte à interação humano-máquina (realidade estendida, interfaces naturais, sistemas de telepresença, etc.). Muitas delas estão já presentes em sistemas avançados de produção, podendo antecipar-se um cada vez maior nível de convergência e integração.

Complementarmente, novos modelos de redes colaborativas, de interação entre humanos e sistemas, e interação entre agentes em ecossistemas de negócio têm emergido de projetos de investigação, muitos já com relevantes pilotos de demonstração industrial.

Ainda que a componente demográfica não tenha sido muito explorada na perspetiva do impacto nos sistemas de produção, existe já uma boa base de conhecimento sobre a utilização de tecnologias de informação, robótica e inteligência artificial no apoio a idosos e ao envelhecimento ativo. Um número ainda reduzido de iniciativas começa a analisar o impacto do envelhecimento da população nos sistemas produtivos. Estamos assim numa fase onde são de esperar significativos progressos em termos de inovação e conseqüente emergência de novos produtos, processos e modelos de negócio.

A comunidade científica nacional, incluindo academia, centros tecnológicos e algumas empresas com atividade de ID, tem tido um papel relevante a nível internacional em várias destas áreas, nomeadamente em redes colaborativas, fábricas do futuro, interoperabilidade, apoio ao envelhecimento ativo, etc. Isto

oferece as condições para uma colaboração efetiva entre a indústria e a comunidade académica com vista a transformar esse conhecimento científico em valor e resolução de problemas sociais.

### 5.5.3. Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Devido à contínua automação de processos de fabricação simples, e ao aumento da complexidade dos produtos, o número de postos de trabalho com um baixo nível de complexidade diminuirá e as necessidades de trabalhadores qualificados para ocupar postos com um alto nível de complexidade aumentará. Deste movimento resulta a necessidade da requalificação dos trabalhadores existentes no sentido de os dotar de maiores competências que lhes permitam evoluir para os novos ambientes industriais digitalizados ou da entrada para a área da produção industrial de trabalhadores com um nível de qualificação mais elevado. Para lidar com os novos desafios de conhecimento e competências vindos com a adoção das novas tecnologias e processos da Indústria 4.0 são necessárias novas abordagens estratégicas para a gestão holística dos recursos humanos nas empresas industriais.

Com a digitalização progressiva das indústrias (Indústria 4.0) e a consequente introdução de novas tecnologias, máquinas e processos produtivos, os graus de sofisticação e automação vão evoluir exponencialmente e, assim, os perfis profissionais das várias áreas de produção industrial necessitam de passar por uma transição promotora da capacidade de trabalhar dentro desses novos paradigmas. São assim necessários processos inovadores de educação e formação que permitam à força de trabalho industrial Portuguesa adquirir novas competências e capacidades de uma forma rápida e eficiente.

Baseados nestes desafios, identificam-se assim um conjunto de eixos de inovação para a Indústria sobre o qual é necessário desenvolver trabalho:

- **Conhecimento e Qualificação de Recursos Humanos**
  - Identificação dos perfis de competências necessários à indústria 4.0;
  - Criação de Métodos de identificação sistémica de lacunas para “competências indústria 4.0”;
  - Criação de Processos de Qualificação de Recursos Institucionais para Requalificação de recursos humanos;
  - Criação de Processos de efetiva requalificação de recursos;
  - Desenvolvimento de ferramentas de captura de conhecimento;
- **Ética e Segurança**
  - Desenvolvimento de novos modelos de desmaterialização dos negócios e contratualização de trabalho;
  - Novos modelos de desenvolvimento e de valorização e incentivo;
  - Novos modelos de orientação comportamental;
  - Novos Modelos de bem-estar e segurança dos recursos humanos em ambiente produtivo;
  - Desenvolvimento de novas ferramentas preditivas para a segurança da empresa (Recursos/Informação/Humanos/outros);
- **Organização e Eficiência**
  - Desenvolvimento de novos processos e metodologias nos campos da eficiência e produtividade através da utilização de novos sistemas de interface Homem-Máquina;

- Desenvolvimento de novos processos e metodologias nos campos da eficiência e produtividade através da utilização de novas Metodologias LEAN;
  - Desenvolvimento de novos modelos de captação e integração de recursos humanos nas fábricas do futuro (i4.0);
  - Desenvolvimento de novos modelos de valorização do papel desempenhado pelos recursos humanos nas fábricas do futuro (i4.0);
  - Desenvolvimento de novas metodologias de trabalho em ambientes de "Locais de Trabalho" desmaterializados;
  - Desenvolvimento de novos modelos de cooperação em ambiente de inovação aberta nas fábricas do futuro (i4.0).
- **Novos Modelos de Negócio**
- Desenvolvimento de novos modelos de integração de cadeias de valor;
  - Desenvolvimento de novos modelos de Empresas "Rede", cujos fundamentos sejam a colaboração, a mobilidade e a partilha de recursos;
  - Desenvolvimento de novos modelos produtivos adaptativos e inteligentes.

#### 5.5.4. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro

Para além dos fatores críticos apontados na vertente de investigação, são ainda de referir:

- **Cultura de colaboração:** os novos modelos produtivos exigem uma forte colaboração, o que requer uma preparação de todos os intervenientes – uma boa consciência das vantagens e riscos da colaboração e o desenvolvimento de competências específicas para ser um "parceiro apetecível". Essa cultura ainda é limitada em Portugal. Tal como noutras áreas, também aqui se torna vital reforçar a cultura de colaboração entre a academia e as empresas;
- **A competição de proximidade:** como é bem conhecido, por vezes entidades localizadas na mesma zona geográfica paradoxalmente revelam maior dificuldade em colaborar que entidades localizadas em diferentes países. Tal deve-se a que entidades "próximas" frequentemente competem pelos mesmos recursos. É, contudo, fundamental reforçar polos de colaboração nacional e regional entre as entidades aí localizadas (criando ecossistemas colaborativos) como forma de aumentar sua capacidade competitiva a nível global. Os chamados "laboratórios colaborativos" poderão vir a contribuir neste sentido, mas para tal deverão ser capazes de endogeneizar o conhecimento já existente da área de redes colaborativas, envolvendo atores com esse conhecimento, o que ainda falta demonstrar;
- **Esforço multidisciplinar e intersectorial:** os desafios neste setor requerem contributos de múltiplas áreas de conhecimento, o que requer um grande esforço de integração de diferentes ontologias, vocabulários, e modos de fazer. Uma insuficiente perceção das dificuldades inerentes a tal processo pode levar a conflitos e ao fracasso;
- **Processos de criação de valor:** é fundamental que os vários intervenientes nos novos sistemas industriais tenham uma compreensão abrangente das cadeias de valor e dos processos de criação de valor, assim como suas condicionantes. Isto é particularmente crítico quando se envolvem atores com sistemas de valores muito diferentes. Relativamente aos centros de investigação e mesmo de transferência tecnológica nem sempre existe uma forte compreensão destes processos, o que pode inibir o envolvimento em atividades de inovação.

## 6. Capítulo VI – Conclusões

Esta Agenda Temática de Investigação e Inovação para a Indústria e Manufatura resulta de um processo de debate interativo em que foram consideradas as **necessidades da indústria nacional** face aos desafios futuros associados ao desenvolvimento do setor da Indústria e Manufatura em Portugal, tendo em conta o desenvolvimento atual, as oportunidades de I&I para 2030 e os fatores críticos para o seu desenvolvimento.

Os desafios identificados foram organizados em **grupos de trabalho/dimensões temáticas** para a I&I tendo resultado, após discussão, na identificação das **5 dimensões temáticas** em que foi estruturada esta Agenda: **Materiais avançados; Processos tecnológicos industriais avançados; Gestão eficiente de recursos e processos; Robótica e sistemas inteligentes de manufatura; Redes colaborativas e produção industrial centrada no ser humano.**

A indústria transformadora é um dos motores da economia portuguesa. É responsável por 1/10 do total das empresas, 1/4 do volume de negócios das empresas não financeiras e 1/4 do emprego em empresas não financeiras. Esse aporte varia em função do grau de intensidade tecnológica utilizado<sup>34</sup>. O segmento da indústria de baixa ou média-baixa tecnologia predomina, representando 9/10 das empresas, 3/4 do total de volume de negócios e das pessoas ao serviço do setor. O potencial dos segmentos de alta e média-alta tecnologia é, no entanto, manifesto: ¼ do volume de negócios e ¼ dos trabalhadores ao serviço do setor (BP 2018).

A competitividade da indústria nacional dependerá, em larga medida, da sua capacidade em modernizar para responder os desafios que lhe são colocados (Figura 12)<sup>35</sup>.

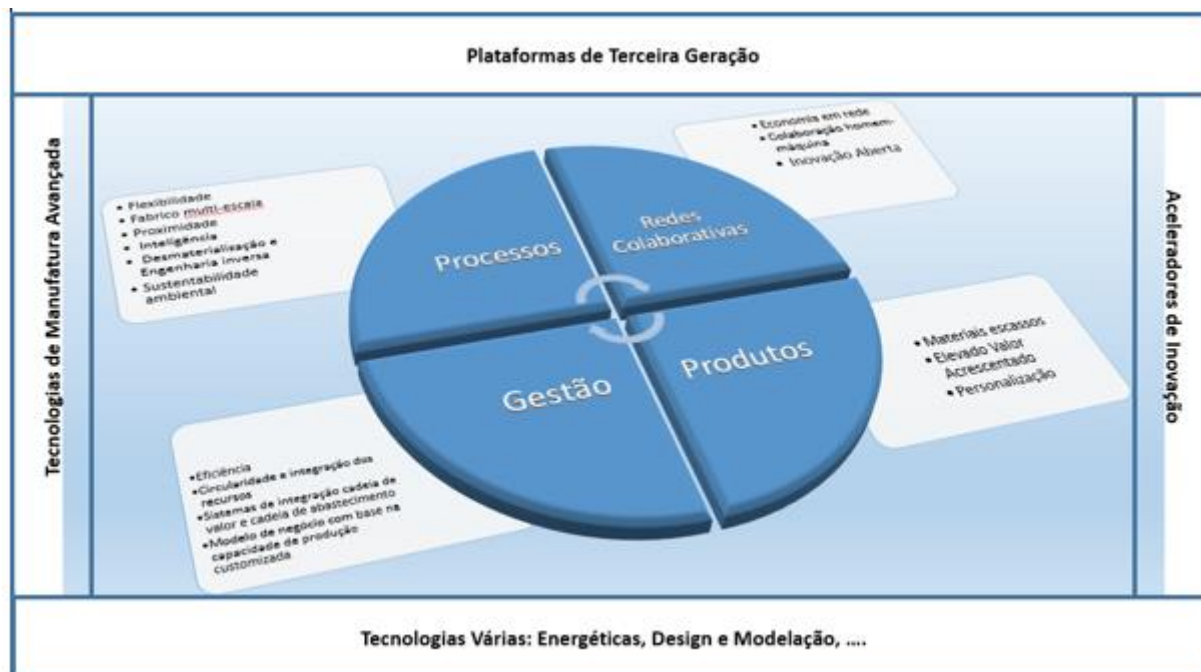


Figura 12 - Dimensões críticas para Sistemas de Produção Inteligentes

<sup>34</sup> A intensidade tecnológica é definida segundo uma abordagem setorial e quatro graus de intensidade tecnológica de acordo com um conjunto de indicadores sobre os gastos de I&D, o valor acrescentado bruto (VAB) e a produção, observados para o total de cada indústria.

<sup>35</sup> É de salientar que alguns destes desafios não se limitam à indústria de manufatura: a questão da gestão eficiente dos recursos é explorado na Agenda I&I da economia circular, os sistemas ciber-físicos são analisados na Agenda I&I dos sistemas ciber-físicos e o trabalho na Agenda I&I do trabalho, robotização e qualificação do emprego.

A indústria nacional está naturalmente confrontada com uma mudança de paradigma associada à designada transformação digital, implicando alterações significativas no modo como as empresas desenvolvem as suas operações e concebem e implementam os seus modelos de negócio.

Em particular, no âmbito da designada indústria 4.0, a crescente conectividade entre objetos e equipamentos que integram os processos industriais, requer uma enorme intensificação do uso de tecnologias de informação e comunicação. Assim, a referida ligação decorre da crescente digitalização e integração de processos através de todo o ciclo de produção e das organizações associadas.

Neste quadro, torna-se possível a criação de redes de informação e controlo proporcionando geração de informação em tempo real.

A introdução de Sistemas de Produção Inteligentes, em rede, permite a utilização de modelos de maior flexibilidade e especialização, possibilitando uma maior proximidade com os clientes, numa perspetiva de produção de massa “individualizada”, através de produtos customizados, dando conta da variabilidade e dinâmica dos mercados, de forma flexível e eficiente.

A maior variedade de produtos associados a diversos sistemas de fabrico em simultâneo e a redução dos tempos de resposta constitui, assim, um dos desafios que os sistemas de produção inteligentes podem proporcionar, possibilitando igualmente o reposicionamento de produtos e serviços. Criam-se, deste modo, condições para o fomento de processos de inovação nas inúmeras interdependências que se geram, proporcionando novos serviços ao longo da vida do produto.

A digitalização de produtos e serviços e a introdução intensiva de “inteligência” em equipamentos, produtos e processos tornam-se possíveis graças a uma cada vez maior utilização de tecnologias de informação, comunicação e localização mais avançadas.

Em particular, os sistemas avançados de produção, disponibilizando materiais e produtos avançados e, por vezes, conectados envolvendo a utilização de conhecimentos científicos e tecnológicos em áreas como as nanotecnologias, a fotónica, entre outras. Em paralelo, a manufatura aditiva e a robótica colaborativa podem desempenhar igualmente papel destacado.

Por outro lado, o amadurecimento de tecnologias da nuvem, bem como de *Big Data*, tenderão a assumir crescente centralidade nestes sistemas avançados de produção.

De sublinhar, ainda, o papel relevante dos designados aceleradores de inovação como a Internet das coisas, a inteligência artificial, a robótica, as interfaces humano-digitais.

Neste contexto, os sistemas ciberfísicos permitem uma integração e coordenação reforçada de sistemas de produção inteligentes nomeadamente através do uso de sensores avançados e operações de controlo remoto bem como de dispositivos de comunicação, permitindo a monitorização e controle de processos em tempo real, num contexto de fluxos de grande volume de dados.

### **6.1 Desafios: a agenda e a sociedade Portuguesa**

Portugal é atualmente classificado como um país moderadamente inovador de acordo com o [European Innovation Scoreboard](#), mas tem vindo a convergir em muitos domínios da inovação a par com o desempenho de muitos dos parceiros europeus mais evoluídos. Vários instrumentos e programas e as políticas públicas de desenvolvimento económico ao longo da última década têm revelado uma preocupação com a garantia das condições necessárias e favoráveis à contínua prossecução do desenvolvimento económico e empresarial, sendo que esta Agenda tem como objetivo contribuir para o apoio à tomada de decisões informadas ao nível da área da Indústria e Manufatura.

Esta Agenda identificou um conjunto de desafios para o futuro que deverão ser tidos em conta de modo a garantir que Portugal possa tornar-se num país altamente inovador na área da Indústria e Manufatura, nomeadamente:

- Manter a **liderança na indústria europeia** no mercado global;
- Necessidade de investimento em **Tecnologias Facilitadoras** para criar vantagens competitivas;
- Integração de conceitos como os da **Indústria 4.0** e da **Economia Circular** nos setores industriais;
- Capacidade de resposta no desenvolvimento de **novos produtos e processos** avançados;
- **Integração de conhecimento** e desenvolvimento tecnológico na Indústria (*ex., manufatura aditiva, robótica e sistemas avançados, micro- e nano-fabricação, etc.*).

Naturalmente, nenhum destes desafios pode ser considerado independentemente do contexto internacional no qual Portugal se insere, tendo por isso sido identificadas as seguintes realidades a nível internacional que se consideram ter impacto na área da Indústria e Manufatura:

- Alterações climáticas, modificações demográficas e **competição pelos recursos naturais**;
- **Digitalização da indústria e novos modelos de negócio**;
- Desenvolvimento de **cadeias de valor sustentáveis**;
- Otimizar o **desempenho e uso eficiente** de recursos;
- Impactos, **responsabilidade** sociais e questões éticas.

Tendo como principal objetivo o **aumento da competitividade** da indústria Portuguesa nos próximos anos, esta agenda tem presente a forte concorrência internacional entre regiões em termos de atração de investimento e a ambição de promover medidas de **desenvolvimento económico e social**, com reflexo no **aumento da produtividade e do emprego** através da **modernização industrial**.

Esta Agenda pretende ser um instrumento evolutivo e dinamizador de **cadeias de valor sustentáveis**, potenciando as exportações e preparando a Indústria para enfrentar os desafios atuais, desde a **transformação digital ao uso eficiente de recursos**. Para além do desenvolvimento e modernização da indústria tradicional, esta Agenda pretende criar espaço para **novas indústrias criativas e inovadoras baseadas no conhecimento, geradoras de valor e de emprego tecnológico**.

Assim sendo, a Agenda de Investigação e Inovação para a Indústria e Manufatura identificou cinco dimensões fulcrais para a dinamização da produção industrial em Portugal, i.e., materiais com um valor acrescentado próprio (**materiais avançados**); processos integrando uma gama de *altas tecnologias* que potenciem melhorias no produto, no processo produtivo e na gestão de desperdícios (**processos tecnológicos avançados**); gestão eficiente dos recursos endógenos e *design* tendo em conta as questões ambientais (**gestão eficiente de recursos e processos**); máquinas dotadas de sistemas inteligentes (**robótica e sistemas inteligentes**); **redes colaborativas e produção centrada no homem**.

As primeiras dimensões constam da lista das tecnologias horizontais entendidas pela Comissão Europeia como essenciais para facilitar a competitividade (EC 2009, EC 2012).

As cinco dimensões suprarreferidas refletem áreas em que Portugal apresenta vantagens resultantes do conhecimento produzido nos últimos dez anos. Com efeito, as áreas de I&I propostas para os próximos anos revelam uma continuidade, aprofundando áreas emergentes.

A I&I em algumas áreas poderá contribuir para responder aos desafios societais, em particular os relacionados com a saúde e a ação climática.

A título de exemplo, a **gestão de recursos** (materiais, água e energia) e **processos** segundo um modelo de sustentabilidade ambiental, contribui para combater as alterações climáticas e proteger o ambiente. O potencial de determinados **materiais avançados** (e.g. biomateriais e biomiméticos) para tratar, vigiar e gerir doenças e deficiências é enorme. Este potencial é tanto mais importante em sociedades com um perfil demográfico como o de Portugal. – Portugal um dos países mais envelhecidos da União Europeia,

devido ao comportamento da natalidade (redução), mortalidade (redução) e migração (aumento da emigração de jovens): o índice de dependência e o índice de envelhecimento são superiores em 2,6 e 15,9, respetivamente, à média da União Europeia. É expetável um agravamento dos índices de envelhecimento e de dependência em Portugal. Estima-se que, em 2030, o número de residentes com 65 ou mais anos por 100 residentes com menos de 15 anos aumente para 242,6 e que o número de residentes com 65 ou mais anos por 100 residentes com idades compreendidas entre 15 e 64 aumente para 45,5 (GEP 2017, Eurostat 2018, INE 2018).

A modernização da indústria requer uma intervenção em termos de capital humano.

A crescente automação e inteligência nos processos de fabricação, o aumento da complexidade dos produtos e as preocupações ambientais requerem competências específicas (e.g. digitais, design, engenharia), em particular na indústria de média-alta ou alta intensidade tecnológica.

A necessidade de trabalhadores qualificados tende a aumentar, pelo que é urgente (re)qualificar (potenciais) trabalhadores do setor, conforme demonstra o nível de qualificação dos trabalhadores da indústria transformadora em Portugal.

Em 2017, o nível de habilitações literárias (referência ISCED 11) da maioria dos trabalhadores da indústria era baixo: 61,8% dos trabalhadores tinham concluído o primeiro ou segundo ciclo, 26,6% o ensino secundário ou pós-secundário não superior e 11,6% o ensino superior. Os trabalhadores com baixas qualificações predominavam nos vários segmentos do setor, à exceção do segmento de alta intensidade tecnológica em que prevaleciam os trabalhadores com ensino superior (37,5%). O cenário português diferia do da média UE28, onde a percentagem de trabalhadores da indústria transformadora com ensino secundário ou pós-secundário não superior era 56,7%, dos trabalhadores com ensino superior 23,6% e dos trabalhadores com ensino pré-primário, primeiro ou segundo ciclo 19,5% (Eurostat).

Assim, importará que o país consiga reforçar significativamente a qualificação base dos trabalhadores e, na circunstância, dos que estão envolvidos em atividades da indústria e manufatura.

## 6.2 As áreas estratégicas para a Investigação e a Inovação na Indústria e Manufatura até 2030

Esta Agenda Temática de Investigação e Inovação para a Indústria e Manufatura **identificou 5 áreas estratégicas** com relevância crescente e que se prevê que venham a ter impacto significativo a médio prazo, nomeadamente:

- **Materiais avançados;**
- **Processos tecnológicos industriais avançados;**
- **Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria;**
- **Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura e;**
- **Redes colaborativas e a produção industrial centrada no ser humano.**

Para cada uma destas áreas foi identificado um conjunto de desafios, oportunidades, fatores críticos e tópicos de investigação e inovação cujas prioridades foram identificadas, entre as várias propostas em cada dimensão:





## **Materiais Avançados**

### ***Investigação***

- Funcionalização de superfícies;
- Multifuncionalidade e compatibilidade de materiais;
- Reutilização e reciclagem /eco materiais;
- Substituição de materiais escassos;
- Nanoeletrónica / sensores;
- Aplicações de manufatura aditiva (incluindo biomateriais e tecidos) e sistemas para fabrico aditivo;
- Processos multitecnologia (hibridação);
- Processos de fabrico multiescala;
- Tecnologias de modelação avançadas.

### ***Inovação***

- Superfícies funcionais e inteligentes;
- Multifuncionalidade e compatibilidade de materiais;
- Novos compósitos funcionais de base polimérica, cerâmica, metálica ou outra.



### Processos tecnológicos industriais avançados

#### *Investigação*

- Processos e tecnologias de ligação de materiais;
- Ferramentas de simulação multi-processos;
- Biomanufatura em contínuo;
- Gestão circular e integrada de recursos nos processos industriais;
- Recursos e processos para uma maior eficiência;
- Gestão eficiente de ativos;
- Soluções descentralizadas.

#### *Inovação*

- Ferramentas de modelação e simulação;
- Geração de resíduos;
- Simbiose industrial multissetorial;
- Resíduos e efluentes para geração de energia.



### Gestão eficiente de recursos e processos na Indústria

#### *Investigação*

- Integração horizontal e vertical da cadeia de valor e nas cadeias de abastecimento;
- Analítica industrial para a eficiência de recursos e processos:

#### *Inovação*

- Sistemas de tratamento de big data;
- Integração de sistemas de manutenção preditiva;
- Sistemas não intrusivos de manutenção;
- Sistemas que permitam evitar desperdícios de recursos e mitigar distúrbios que ocorram no sistema;
- Modelos logísticos avançados;
- Modelos de negócio com base na produção customizada. (servitização);
- Design como instrumento integrador.



## Robótica industrial e sistemas inteligentes de manufatura

### **Investigação**

- Sistemas de manufatura programados/instruídos de forma natural;
- Robótica móvel autónoma;
- Manipulares com ferramentas flexíveis, fáceis de integrar e instruir, modulares e com sensores integrados;
- Interação robôs–humanos;
- Sistemas robóticos macios;
- Sistemas de sensores em rede com captação em tempo-real do estado de todos os elementos do sistema produtivo;
- Análise de big data;
- Sistemas com capacidade de antecipar comportamentos humanos;
- Integração e reconfiguração rápida dos elementos dos sistemas produtivos;
- Resiliência dos sistemas (auto-reconfiguração e auto-reparação);
- Redes seguras.

### **Inovação**

- Robótica colaborativa;
- Robótica móvel inteligente;
- Sensorização/redes de sensores inteligentes em manufatura e big data;
- Sistemas adaptativos;
- Ambientes e ferramentas; virtuais/sistemas ciber-físicos;
- Sistemas inteligentes de manufatura;
- Programação rápida de manipuladores;
- Microfábricas;
- Segurança;
- Produtos inteligentes;
- Sistemas produto-serviço.



## Redes colaborativas e a produção industrial centrada no ser humano

### *Investigação*

- Modelos de negócio centrado no humano;
- Estruturas organizacionais e modelos de governação para redes colaborativas;
- Humanismo industrial;
- Integração de princípios de ética, promoção da valorização de humanos e abordagens colaborativas, numa ótica de segurança em sistemas complexos industriais.

### *Inovação*

- Identificação de perfis de competências e suas lacunas no quadro de sistemas inteligentes de produção;
- Processos de qualificação e requalificação de recursos humanos (indústria 4.0);
- Modelos de desmaterialização de negócios e contratualização de trabalho;
- Modelos de orientação comportamental e de bem-estar e segurança dos recursos humanos;
- Sistemas de interface homem-máquina;
- Captação e integração de recursos humanos e modelos para a sua valorização nas fábricas do futuro;
- Novos modelos de negócio (integração de cadeias de valor, empresas de rede, produção adaptada e inteligente).

### 6.3 A Indústria e Manufatura, a Inovação e o Desenvolvimento Económico

Com base nos objetivos apresentados e nas dimensões temáticas identificadas, foi possível definir um conjunto de linhas estratégicas nesta Agenda que poderá vir a ter um papel central na definição de orientações para dinamizar a área da Indústria a Manufatura e contribuir para o dinamismo da economia nacional. Será assim relevante **apostar em áreas temáticas específicas onde Portugal apresente vantagens**, fazendo uso das diversas linhas de I&DT e Inovação **através de projetos estruturantes** e de

interesse nacional no período 2020-2030, e **que resultem numa liderança internacional a nível tecnológico que faça aumentar a presença da indústria nacional nos mercados internacionais**. Até 2030 Portugal deverá afirmar-se como um país de vanguarda ao nível do desenvolvimento e adoção de materiais e processos tecnológicos avançados.

Assim, considera-se que há um **conjunto de apostas centrais** para a Indústria e Manufatura que deverá ser seguido nos próximos anos, nomeadamente:

- Afirmação de Portugal como um país de vanguarda ao nível do desenvolvimento e **adoção de materiais e processos tecnológicos avançados** na Indústria;
- Aposta na **valorização de matérias-primas e tecnologias endógenas**, no desenvolvimento de **superfícies funcionais e inteligentes**, na **multifuncionalidade e compatibilidade dos materiais** e na obtenção de **produtos de elevado valor acrescentado**;
- Foco no **uso eficiente de recursos** (p. ex., valorização de resíduos, *ecodesign*) para garantir um contributo forte aos desígnios da sustentabilidade e de uma economia circular;
- Desenvolvimento de processos industriais avançados e inteligentes com integração das tecnologias emergentes e capacidade de **customização e personalização de produtos**;
- Aposta na **robótica avançada** e na **inteligência artificial** como fator de mudança relevante e perspetivada com a modificação da **produção industrial valorizadora do ser humano** na empresa do futuro.

As cinco dimensões temáticas identificadas permitiram definir um conjunto de linhas com potencial para **modernizar a Indústria** e, em última instância, para **catalisar o crescimento económico**. A modernização da indústria, em particular do segmento dos bens transacionáveis, tem um potencial significativo para contribuir para uma produção mais eficiente (maior produtividade a menor custo) e inovadora, assim como para um aumento da competitividade no mercado internacional. Essa modernização não assenta apenas na «modernização tecnológica», organização operacional e métodos de trabalho. Baseia-se também num modelo de economia do conhecimento, em que o conhecimento é transladado das unidades de produção de conhecimento para a indústria, contribuindo para a inovação dos produtos, processos, organização e/ou modelo de negócio.

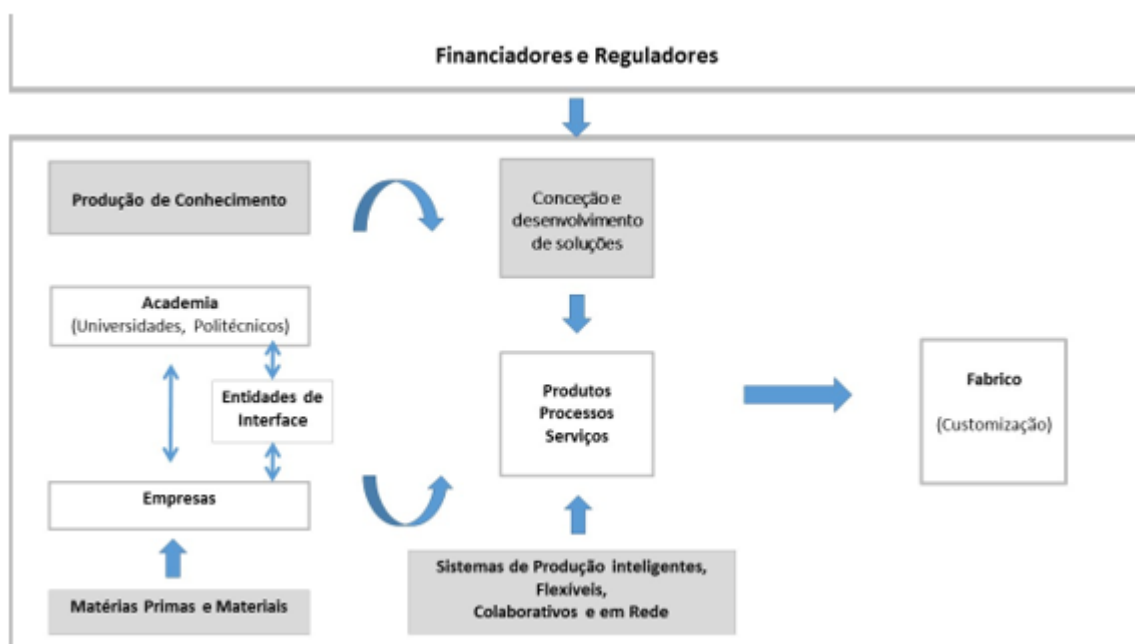


Figura 13 - Ecossistema para produção industrial baseada no conhecimento

As interações na produção industrial baseada no conhecimento não se limitam às estabelecidas entre os produtores de conhecimento e aos produtores de produtos industriais. O ecossistema envolve vários atores (Figura 13), que atuam como interface entre os referidos atores, conjugando competências especializadas (e.g. clusters, centros de competência e laboratórios colaborativos); como reguladores da qualificação, investigação, inovação e dos vários aspetos da indústria de manufatura (e.g. investimento, internacionalização, legislação laboral e ambiental); como financiadores do sistema de investigação e inovação.

É por isso essencial implementar **mecanismos que fomentem ativamente parcerias entre os Laboratórios de Investigação e a Indústria**, uma ligação forte com o sector industrial relevante desde uma fase inicial do processo de investigação pode ser um fator importante para que este conduza a tecnologias e produtos com potencial económico. Ainda se verifica pouca penetração na indústria nacional da extensa base de conhecimentos já existentes nesta temática a nível de investigação. Isto dever-se-á a deficiências de formação a nível do ensino superior e também às dificuldades naturais das abordagens multidisciplinares. Torna-se necessário criar ações de formação específica e novos “espaços” de colaboração academia-indústria (projetos piloto orientados para atividades em rede). Por exemplo, para esta articulação, recorrer à criação, quer de parte das universidades, quer de parte das empresas, de interlocutores de elevada formação, capazes de criar laços fortes e duradouros entre essas instituições; prever mix de instrumentos; reforçar financiamento de instituições de I&D em função de atração do tecido produtivo; fomentar a contratação de serviços de I&D pelas empresas; fomentar a divulgação de publicações académicas (como importantes fontes de informação para a inovação) junto das empresas, reforçar o apoio a Empresas com forte aposta em I&D, privilegiando o papel das *start-ups* de base tecnológica; reforçar e promover a interação entre empresas, em especial entre grandes empresas e *start-ups* de base tecnológica.

De modo a **promover e acelerar da difusão das tecnologias e a sua adoção**, envolvendo as empresas e as entidades do Sistema Científico e Tecnológico, é necessário o alinhamento entre a missão e a função dos centros de conhecimento com os objetivos estratégicos da indústria através de articulação de linhas de investigação e desenvolvimento estratégico com oportunidades de inovação produtiva através da definição de orientações estratégicas específicas para os diferentes sectores de maior impacto na economia real. Por exemplo, através da elaboração de um plano nacional de linhas de inovação entre as unidades de I&D (academia), unidades de interface/transfêrencia tecnológica e empresas especificamente para o desenvolvimento de novos produtos, e de novos processos de fabrico e tecnologias industriais.

Não só a cooperação a nível nacional é relevante, mas é importante fazer parte do ecossistema internacional. Para este objetivo é fundamental **continuar e incrementar a participação em redes internacionais**, quer através da participação em associações sectoriais, plataformas tecnológicas, etc. de âmbito Europeu ou Mundial, de forma a impulsionar a inclusão em iniciativas de âmbito Europeu, quer através da participação de investigadores portugueses (associados ou não a empresas) em projetos internacionais/Europeus. No entanto, uma efetiva participação nacional em redes e fóruns internacionais sobre estes temas, nomeadamente com uma ambição de forte contribuição e liderança, requer financiamentos específicos, já que tais atividades, quer pela sua natureza, quer pelo grau de continuidade exigido, são dificilmente enquadradas nos projetos “normais” de investigação. Importa, pois, criar outros mecanismos de apoio continuado a esta participação como forma de assegurar um envolvimento credível perante parceiros internacionais.

Outro facto crítico muito importante está relacionado com a necessidade de orientar a **oferta formativa superior às necessidades específicas dos roadmaps tecnológicos diferentes sectores/clusters industriais**. A formação de recursos humanos de nível muito elevado é primordial tendo em vista não só a Agenda enunciada, mas igualmente a implementação adequada dos desafios detetados a nível da inovação industrial. É por isso necessário que exista uma evolução da oferta formativa técnico-profissional com uma maior orientação para processos informatizados e maior especialização inteligente dos recursos humanos, promovendo maior adaptabilidade e interoperabilidade de competências adquiridas e facilitando uma mais rápida adaptação e especialização em ambiente produtivo.

Por outro lado, a Indústria deve demonstrar que percebe as vantagens em integrar estas competências. Uma forma de transferir estas competências poderá ser a contratação pela Indústria de profissionais formados nos Laboratórios (incluindo Mestrados e Doutorados) ou através da participação ativa na formação; aumento de investimento público e privado para a formação de operadores dos diferentes processos industriais, acelerando a sua integração em processos tecnológicos avançados e inteligentes e facilidade de acesso a programas de financiamento que permitam colaboração da indústria com os centros de interface e incentivos à contratação de recursos altamente qualificados, incluindo o desenvolvimento de bolsas de doutoramento em ambiente empresarial.

Por fim, a necessidade de foco, de **seleção estratégica de áreas científicas**, foi também mencionada, ao nível de formação de recursos nessas áreas a vários níveis e ao nível do investimento prioritário nas mesmas seja em **formação**, em **infraestruturas** e em **equipamentos**. A seleção do que e onde se aposta é fundamental a fim de otimizar recursos e maximizar resultados e deve obedecer a diversos critérios como os interesses estratégicos do país e as grandes linhas de desenvolvimento internacional. Nesta Agenda as que se destacam são:

- **Necessidade de adaptação rápida a novas tecnologias e métodos de fabrico com especial enfoque na introdução de tecnologias digitais e sistemas robotizados avançados;**
- **Desenvolvimento de indústria nacional de bens de equipamento assente em ferramentas inteligentes adaptáveis diferentes indústrias produtivas**, tendo por base know-how em robótica avançada e desenvolvimento de software (i.e., *machine learning*);
- **Modernização da infraestrutura produtiva** recorrendo a novas tecnologias e equipamentos que integrem os novos paradigmas de *self-assessment*, *self-monitoring*, sustentabilidade e gestão inteligente e autónoma das linhas produtivas;
- A introdução de novos materiais, processos de fabricação, descentralização de locais de fabrico levanta também questões do ponto de vista ambiental, para os quais têm de ser criadas **metodologias de processamento de resíduos e criação de legislação específica transversal a todos os países envolvidos;**
- **Maior integração de sistemas e subsistemas até à criação do produto final**, com uma maior aproximação ao mercado a jusante do processo, e conseqüentemente aumento do valor;
- **Ferramentas de gestão de apoio à decisão em tempo real**, capazes de integrar e aproveitar a elevada disponibilidade de dados, numa realidade de plena digitalização dos sistemas produtivos e da gestão da informação;
- **Gestão da interface homem-máquina** no planeamento e escalonamento dos processos industriais;
- **Sistemas inteligentes de monitorização e controlo** que permitam aferir o estado de equipamento, de forma não intrusiva e sem necessidade de paragens processuais;
- **Acesso a sistemas de pequena escala e de prototipagem** que facilite o processo de design de novos produtos e a decisão de mudança de tecnologia tradicional para outra mais eficiente;
- **Alinhamento da legislação para uma gestão eficiente de recursos.**

Para este passo de modernização da indústria ter possibilidade de ocorrer nos próximos tempos, é essencial um **forte apoio à investigação** nesta área, acompanhado de **um forte incentivo à transferência de tecnologia das instituições de investigação e desenvolvimento bem como de um apoio financeiro à modernização da indústria**. É igualmente muito importante o **suporte à criação de novas empresas tecnológicas associadas à inovação e aos novos produtos e serviços resultantes da aplicação industrial da investigação realizada**.

Esta agenda apresenta vários caminhos, tendências que podem ser explorados pelas instituições académicas e pelas empresas com vista a tornar o nosso país mais competitivo, no quadro de uma base de conhecimento acrescida e de dinâmicas de colaboração reforçadas ao longo do tempo.



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1-</b> Financiamento de I&I no âmbito da indústria e manufatura entre 2007 e 2017	27
<b>Tabela 2 -</b> Tecnologias-chave segundo estudos selecionados	44

## Lista de Figuras

<b>Figura 1-</b> Processo de elaboração da agenda de I&I para a Indústria & Manufatura:	4
<b>Figura 2 -</b> Exemplos de documentos de estratégias nacionais e internacionais	22
<b>Figura 3 -</b> Financiamento nacional de projetos de I&I no âmbito da indústria e manufatura para o período 2007-2017 O eixo vertical esquerdo representa o orçamento anual em M€ e o eixo vertical direito a percentagem do total de financiamento executado (em análise). a) financiamento da FCT (o ano de 2017 é provisório) e b) financiamento com fundos do qren e do Portugal2020.	24
<b>Figura 4 -</b> Financiamento europeu (7º Programa-Quadro e Horizonte 2020) de projetos de I&I no âmbito da Indústria e Manufatura no período 2007-2017 com participação portuguesa.	25
<b>Figura 5 –</b> Bolsas de doutoramento e pós-doutoramento atribuídas pela FCT, no âmbito da Indústria e Manufatura, no período 2007-2017. a) financiamento atribuído (o eixo vertical esquerdo representa o orçamento anual em m€ e o eixo vertical direito a percentagem de financiamento atribuído a bolsas na temática da Indústria e Manufatura relativamente ao total de bolsas financiadas anualmente) e b) número de bolsas de doutoramento e pós-doutoramento financiadas anualmente entre 2007 e 2017.	26
<b>Figura 6 -</b> Estimativas da percentagem de investimento nacional em I&D por área temática, por ano	28
<b>Figura 7 -</b> Distribuição da despesa em I&D por tipo de entidade, por ano.	28
<b>Figura 8 -</b> Distribuição da despesa em I&D por tipo de entidade, por área temática, em média por ano (2014-2016).	29
<b>figura 9 -</b> Distribuição da despesa em I&D na área da Indústria e Manufatura, em média dos anos 2014 – 2016, por região.	29
<b>Figura 10 -</b> Esquema adaptado de <i>“made different – enabling factories of the future”</i>	37
<b>Figura 11-</b> Manufatura avançada do século XXI como uma expansão da manufatura tradicional do século XX, onde os blocos sombreados representam as quatro maiores tendências evolutivas em termos de operações.	42
<b>Figura 12 -</b> Dimensões críticas para sistemas de produção inteligentes	83
<b>Figura 13 -</b> Ecossistema para produção industrial baseada no conhecimento	92

## Lista de Acrónimos

5G - Infraestruturas de 5ª geração  
7ºPQ - 7º Programa-Quadro de I&DT  
AGV - *Automated Guided Vehicle*  
AR – *Augmented Reality*  
BDE - Bolsas de doutoramento em ambiente empresarial  
CAD - *Computer-aided design*  
CAPEX - *Capital expenditures*  
CE - Comissão Europeia  
CODATA - *Committee on Data for Science and Technology*  
CoLab - Laboratórios Colaborativos  
CPLP - Comunidade dos Países de Língua Portuguesa  
DESI - Índice de Economia e Sociedade Digital da Comissão Europeia  
DFMA - *Design for Manufacture and Assembly*  
DGEEC - Direção-Geral de Estatísticas de Educação e Ciência  
DME - Éter dimetílico  
EEB - Edifícios Energeticamente Eficientes  
END - Ensaio Não Destrutivo  
ENEI - Estratégia Nacional de Especialização Inteligente  
FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
FEEI - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento  
FOF - Fábricas do Futuro  
GoPortugal - *Global Science & Technology Partnerships Portugal*  
H2020 - Horizonte 2020  
H-M – Homem-Máquina  
I&D – Investigação e Desenvolvimento  
I&I – Investigação e Inovação  
I&M - Indústria & Manufatura  
ICSU - *International Council for Science*  
IDT – Investigação e Desenvolvimento Tecnológico  
IFIP 5.5 - *Virtual Enterprises*  
Indústria 4.0 – Transformação Digital da Indústria  
INL - *International Iberian Nanotechnology Laboratory*  
IOT - Internet das Coisas  
IPSFL - Instituições Privadas sem Fins Lucrativos  
ISO - *International Organization for Standardization*  
KET - *Key Enabling Technologies*  
LCA - Análise de Ciclo de Vida  
Li - Lítio  
LTP – Plasma de baixa temperatura  
MEMS - *Microelectromechanical systems*  
ML - *Machine Learning*  
MTI - *Massachusetts Institute of Technology*  
Nd - Neodímio  
NEMS - *Nanoelectromechanical systems*  
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico  
OLEDs - *Organic Light-Emitting Diode*  
OPEX - *Operating Expenses*  
PAEC - Plano de Ação para a Economia Circular  
P-BIO - Associação Portuguesa de Empresas de Bioindústrias  
PESGRI - Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais  
PET - Polietileno Tereftalato  
PMEs - Pequenas e Médias Empresas

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética  
PNAPRI - Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais  
PNPB - Plano Nacional para a Promoção das Biorrefinarias  
Portugal INCoDe.2030 - Iniciativa Nacional Competências Digitais e.2030  
PRO-VE - *Virtual Enterprises/Collaborative Networks*  
PT2020 - Portugal 2020  
QREN - Quadro de Referência Estratégico Nacional  
RGBD – *Red, Green, Blue and Depth*  
ROS - Sistema Operativo para Robôs  
SCT – Sistema Científico e Tecnológico  
SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia  
SIFIDE - Encentivos Fiscais à Despesa com I&D  
SOCOLNET – *International Society of Collaborative Networks*  
SPIRE - Indústria de Processos Sustentáveis  
TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação  
UIX - Design de interface homem/máquina  
UTAustin - *University of Texas at Austin*  
UTEN - *University Technology Enterprise Network*  
UV – Ultra-violeta  
VR – *Virtual Reality*





**FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA**

AV. D CARLOS I, 126, 1249-074 LISBOA, PORTUGAL  
T. [+351] 213 924 300

**[WWW.FCT.PT](http://WWW.FCT.PT)**