

# iscte

INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

## **A Indústria 4.0 em Portugal – O estado da arte**

António Angelo Machado Matos Pereira

Mestrado em Gestão de Empresas

Orientadores:

Prof. Doutor Renato Lopes da Costa, Professor Auxiliar,  
ISCTE Business School

Prof. Doutor Rui Gonçalves, Professor Auxiliar Convidado,  
ISCTE Business School

Setembro, 2021





BUSINESS  
SCHOOL

---

Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

## **A Indústria 4.0 em Portugal – O estado da arte**

António Angelo Machado Matos Pereira

Mestrado em Gestão de Empresas

Orientadores:

Prof. Doutor Renato Lopes da Costa, Professor Auxiliar,  
ISCTE Business School

Prof. Doutor Rui Gonçalves, Professor Auxiliar Convidado,  
ISCTE Business School

Setembro, 2021



## Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Doutor Renato Lopes da Costa e Professor Doutor Rui Gonçalves, pelo entusiasmo com que acolheram esta ideia e cujo contributo foi fundamental para o desenvolvimento desta dissertação. Não podia deixar de relevar de forma muito particular, o incentivo e a força que me foram transmitidos pelo Professor Doutor Renato Lopes da Costa nos momentos mais difíceis desta caminhada, assim como a motivação e direcionamento para a nova etapa que se avizinha.

A todos os participantes deste estudo, cujo contributo permitiu uma clarificação do panorama nacional relativamente a um tema que tanto me entusiasma e que com toda a certeza, continuará a ser o foco do meu trabalho.

Ao João, à Mariana, ao Hugo, à Patrícia, ao Luis, à Tatiana e ao pequeno Artur (a minha segunda família) que me têm acompanhado neste percurso, apoiando e incentivando de forma admirável, apesar de toda a loucura e particularidades que tanto nos caracterizam.

Aos meus irmãos e mãe, por estarem sempre atentos às minhas aventuras e disponíveis para segurar a rede, se tal fosse necessário.

Ao Francisco, o meu filho, que tantas vezes viu o nosso tempo juntos ser sacrificado, sem nunca enjeitar um lamento, demonstrando uma maturidade incrível para um adolescente, levando-me a admirá-lo ainda mais e a manifestar o tremendo orgulho que tenho em ser seu pai.

Por último, à Joana, que se juntou a esta labuta na sua fase final, parecendo contudo, que sempre esteve presente, caminhando incondicionalmente a meu lado, e deixando a certeza de que o caminho, doravante, será uno, partilhando alegrias e ultrapassando juntos, os obstáculos que forem aparecendo.



## Resumo

A quarta revolução industrial, mais conhecida como Indústria 4.0, pretende transformar as unidades industriais em organizações mais eficientes e produtivas, através da implementação de várias tecnologias baseadas no digital e nos sistemas inteligentes. O impacto em toda a cadeia de valor é bastante considerável, sendo as oportunidades e barreiras, imensas.

Neste estudo, para além de uma revisão de literatura sobre a Indústria 4.0, na qual se aborda a contextualização histórica das várias revoluções industriais e se desenvolve o tema I4.0 apresentando as várias tecnologias que a suportam, assim como os seus benefícios e desvantagens, apresenta-se também o estado da nação, suportado em estudos feitos por consultoras e entidades públicas.

Os objetivos desta dissertação passam por traçar o cenário resultante da implementação do conceito Indústria 4.0 em Portugal, percebendo se a integração de uma estratégia digital na estratégia geral é já uma realidade, identificando os benefícios sentidos e quais as dificuldades passadas e procurando ainda aferir qual a melhor ferramenta para identificar o nível de maturidade I4.0 das empresas industriais portuguesas.

Para tal, foi utilizada uma abordagem qualitativa, através de uma análise de conteúdo de 18 entrevistas realizadas a gestores e administradores da área industrial.

Da investigação, sobressai o facto de não se verificar uma visão integrada do conceito I4.0, sendo que os resultados demonstram uma preocupação das empresas com o assunto, existindo ações que visam a implementação do conceito nas suas organizações (ainda que a um nível considerado baixo e localizadas em determinados departamentos), apresentando como principais barreiras, o nível de investimento necessário e a gestão da mudança. Quanto aos benefícios, a grande maioria salienta os aumentos de produtividade e a diminuição de erros ao longo do processo.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Inovação, Organização Industrial, Mudança Tecnológica, Adaptação, Impacto Tecnológico

### **Classificação JEL:**

- L600 *Industry Studies, Manufacturing: General*
- O330 *Technological Change: Choices and Consequences; Diffusion Processes*





**Abstract**

*The fourth industrial revolution, better known as Industry 4.0, aims to transform industrial units into more efficient and productive organizations, through the implementation of various technologies based on digital and intelligent systems. The impact on the entire value chain is quite considerable, and the opportunities and barriers are immense.*

*In this study, in addition to a literature review on Industry 4.0, which addresses the historical context of the various industrial revolutions and develops the theme I4.0, presenting the various technologies that support it, as well as the benefits and disadvantages, the state of the nation is also presented, supported by studies carried out by consultants and public entities.*

*The goals of this dissertation are to outline the scenario resulting from the implementation of the Industry 4.0 concept in Portugal, realizing whether the integration of a digital strategy into the general strategy is already a reality, as well as identifying the benefits felt and what the past difficulties are, and also seeking to measure what is the best tool to identify the I4.0 maturity level of Portuguese industrial companies.*

*To this end, a qualitative approach was used, through a content analysis of 18 interviews conducted with managers and administrators in the industrial area.*

*The research highlights the fact that there is no integrated view of the I4.0 concept, although the results demonstrate a concern of companies with the subject, with actions aimed at implementing the concept in their organizations (although at a level considered low and located in certain departments), with the main barriers being the level of investment needed and change management. As for the benefits, the vast majority reveal the increases in productivity and the reduction of errors throughout the process.*

**Keywords:** *Industry 4.0, Innovation, Industrial Organization, Technological Change, Adaptation, Technological Impact*

**JEL classification:**

- L600 *Industry Studies, Manufacturing: General*
- O330 *Technological Change: Choices and Consequences; Diffusion Processes*



## Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>i</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de tabelas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de abreviaturas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Capítulo I – Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Problemática de investigação .....	2
1.3. Objetivos e questões de pesquisa.....	4
1.4. Estrutura da tese .....	5
<b>Capítulo II – Contextualização histórica e conceito I4.0</b> .....	<b>7</b>
2.1 As revoluções industriais .....	7
2.2 Indústria 4.0 .....	8
2.3 Ferramentas Indústria 4.0.....	11
2.3.1. A Internet das Coisas ( <i>IoT</i> ) .....	12
2.3.2. <i>Big Data</i> .....	12
2.3.3. Robots autónomos .....	13
2.3.4. Simulação .....	13
2.3.5. Integração horizontal e vertical .....	13
2.3.6. Serviços de <i>cloud</i> .....	14
2.3.7. Cibersegurança .....	14
2.3.8. Produção aditiva.....	15
2.3.9. Realidade aumentada.....	15
2.4 Impactos expectáveis na implementação I4.0 .....	16
2.5 Indústria 4.0 em Portugal .....	18

<b>Capítulo III – Modelos de Maturidade</b> .....	<b>21</b>
3.1 O <i>assessment</i> da Indústria 4.0 .....	21
3.2 O Modelo “I4.0MM” (Schumacher) .....	23
3.3 O Modelo “ACATECH – <i>Industrie 4.0 Maturity Index</i> ” .....	25
3.4 O Modelo “IMPULS” .....	27
<b>Capítulo IV - Abordagem teórica</b> .....	<b>29</b>
<b>Capítulo V - Metodologia</b> .....	<b>33</b>
5.1. Modelo de investigação .....	33
5.2. Caracterização da amostra .....	37
<b>Capítulo VI - Apresentação e discussão de resultados</b> .....	<b>41</b>
6.1. Estratégia de digitalização nas empresas portuguesas .....	41
6.2. Barreiras na implementação do conceito I4.0 .....	46
6.3. Impactos percebidos na implementação do conceito I4.0 .....	48
6.4. O Modelo de Maturidade como ferramenta de <i>assessment</i> .....	51
<b>Capítulo VII - Conclusão</b> .....	<b>55</b>
7.1. Considerações finais .....	55
7.2. Contributo para a implementação do conceito I4.0.....	57
7.3. Limitações da pesquisa .....	58
7.4. Sugestões para pesquisas futuras .....	58
<b>Bibliografia</b> .....	<b>61</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>65</b>
A. Guião de Entrevista .....	65

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.1.</b> Macroestrutura i4.0 <i>Index</i> .....	3
<b>Figura 2.1.</b> Ecossistema I4.0 .....	8
<b>Figura 2.2.</b> Os 9 pilares da Indústria 4.0 .....	10
<b>Figura 2.3.</b> Modelo “Humanos-Organização-Tecnologia” .....	11
<b>Figura 3.1.</b> Estágios de desenvolvimento da maturidade Indústria 4.0 .....	26
<b>Figura 5.1.</b> Modelo de investigação .....	33
<b>Figura 5.2.</b> Categorização e codificação do guião de entrevista .....	34
<b>Figura 5.3.</b> Categorização das empresas quanto à dimensão .....	37
<b>Figura 5.4.</b> Dispersão geográfica das empresas inquiridas .....	38
<b>Figura 5.5.</b> Distribuição das empresas participantes quanto aos anos de atividade .....	39
<b>Figura 6.1.</b> Intenção de investimento em tecnologia I4.0 .....	42
<b>Figura 6.2.</b> Distribuição de recursos para a implementação I4.0 .....	43
<b>Figura 6.3.</b> Expectativa de evolução do nível de implementação I4.0 a 3 anos .....	45
<b>Figura 6.4.</b> Nível de integração de tecnologia I4.0 na cadeia de valor .....	50



## Lista de tabelas

<b>Tabela 3.1.</b> Modelos de Maturidade Indústria 4.0 .....	22
<b>Tabela 3.2.</b> Dimensões corporativas .....	24
<b>Tabela 3.3.</b> Dimensões estruturais .....	25
<b>Tabela 3.4.</b> Dimensões I4.0 .....	28
<b>Tabela 5.1.</b> Relação entre os objetivos e as questões de entrevista .....	35
<b>Tabela 5.2.</b> Relação entre os objetivos, as questões de pesquisa e a revisão de literatura .....	36
<b>Tabela 5.3.</b> Sectores representados na investigação .....	38
<b>Tabela 5.4.</b> Distribuição dos inquiridos da categoria “Direção” quanto ao seu departamento	39
<b>Tabela 6.1.</b> Relação Objetivo 1 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista .....	41
<b>Tabela 6.2.</b> Alinhamento da estratégia e modelos de integração vertical referidos .....	43
<b>Tabela 6.3.</b> Ferramentas utilizadas no estudo para implementação I4.0.....	44
<b>Tabela 6.4.</b> Pilares I4.0 mencionados .....	44
<b>Tabela 6.5.</b> Posicionamento quanto ao nível de implementação das empresas inquiridas .....	46
<b>Tabela 6.6.</b> Relação Objetivo 2 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista .....	46
<b>Tabela 6.7.</b> Fatores tecnológicos .....	47
<b>Tabela 6.8.</b> Fatores financeiros .....	47
<b>Tabela 6.9.</b> Fatores humanos .....	48
<b>Tabela 6.10.</b> Relação Objetivo 3 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista .....	49
<b>Tabela 6.11.</b> Impactos sentidos na implementação I4.0 .....	49
<b>Tabela 6.12.</b> Relação Objetivo 4 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista .....	51
<b>Tabela 6.13.</b> Descrição de metodologias para desenho da implementação I4.0 .....	52





**Lista de abreviaturas**

CE – Comissão Europeia

COTEC – Associação Empresarial para a Inovação

CPS – *Cyber-Physical Systems*

CSES – *Center for Strategy & Evaluation Services*

EAM – *Enterprise Asset Management*

EY – *Ernest & Young*

FIR – *Forschungsinstitut für Rationalisierung (Research Institute for Industrial Management)*

GE – Grandes Empresas

I&D – Inovação e Desenvolvimento

I4.0 – Indústria 4.0

I4.0MM – *Industry 4.0 Maturity Model*

IAPMEI – Agência para a Competitividade e Inovação

IoT – *Internet of Things*

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

IW – *Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult*

PME – Pequenas e Médias Empresas

PwC – *PricewaterhouseCoopers*

QP – Questão de Pesquisa

RFID – *Radio-frequency identification*

ROI – *Return of investment*

TI / IT – Tecnologia de Informação / *Information Technology*

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

UE – União Europeia

VDMA – *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (Mechanical Engineering Industry Association)*



## Capítulo I – Introdução

### 1.1. Enquadramento

O futuro na área industrial é já uma realidade e chama-se Indústria 4.0, sendo caracterizado pela transformação digital e pela introdução de sistemas ciberfísicos. Esta quarta revolução industrial consiste no envolvimento dos métodos de produção existentes com os mais recentes desenvolvimentos na área das tecnologias de informação e comunicação, acompanhando a tendência de digitalização sentida em todos os sectores da sociedade.

Através da integração de todos os *players* (pessoas, máquinas, equipamentos, sistemas logísticos e produtos) sustentados tecnologicamente por sistemas ciberfísicos inteligentes e ligados entre si, será possível a comunicação e cooperação direta uns com os outros, com impactos imediatos em toda a cadeia de valor, transformando o paradigma industrial existente de “produção em massa” em “massificação da personalização”.

Percecionada como uma oportunidade para aumentar a competitividade mundial no sector industrial, esta revolução permite uma maior customização dos processos e adequação dos produtos às necessidades e exigências particulares de cada consumidor. Fundem-se assim, os três mundos que compõem o universo industrial (o mundo físico, o digital e o biológico), suportados pela crescente utilização da internet e pela cada vez maior conectividade digital.

Como qualquer revolução, também esta impacta transversalmente toda a sociedade, sendo expectável uma diluição da fronteira existente entre o sector secundário e o sector terciário, resultante da integração das vias comunicacionais com a Indústria, agilizando e facilitando a agregação de dados por parte das empresas industriais.

Os desafios que desta revolução advêm, constituem obstáculos a ter em conta pelo sector nomeadamente ao nível dos custos de implementação, das alterações organizacionais e processuais, da qualificação dos recursos humanos e da cibersegurança (Erol *et al.*, 2016). No entanto, também são esperados benefícios que visam a promoção destas tecnologias e que consistem numa melhoria da qualidade do produto, das comunicações, economia de tempo e custos, na intensificação das relações entre consumidores e numa maior eficiência no momento de desenvolver produtos customizáveis (Oesterreich & Teuteberg, 2016).

Da necessidade de assegurar uma correta e bem-sucedida implementação do conceito Indústria 4.0 nas empresas portuguesas, surge a necessidade de, numa primeira fase, compreender e clarificar de que forma estão os gestores portugueses a preparar em cada uma das suas organizações o caminho para uma efetiva adequação das mesmas a este novo paradigma. Este será

o início de um trabalho que nos remeterá para, numa segunda fase, passar à aferição do nível de maturidade digital das mesmas (ponto de partida real) tendo em linha de conta os objetivos finais, permitindo a definição do caminho a percorrer (estratégia), recorrendo a um roteiro generalista considerando os estágios posteriormente identificados.

## 1.2. Problemática de investigação

De acordo com um estudo realizado pelo Ministério da Economia e pela COTEC, Portugal apresenta-se recorrentemente como um *fast-follower*, posicionando-se, na cauda do grupo intermédio (*mid-tier*) das nações europeias relativamente à implementação do conceito Indústria 4.0.

Tendo como objetivos o aumento da competitividade e da sustentabilidade do ecossistema industrial europeu, gerando simultaneamente um crescimento do negócio e a readequação dos recursos humanos, foi em 2016, apresentada uma iniciativa europeia de apoio à modernização da indústria (*Factories of the Future*) que identifica 5 áreas de intervenção para o desenvolvimento das empresas industriais europeias (redes de valor ágeis, manufatura de excelência, fator humano, redes de valor sustentáveis e plataformas digitais de produção interoperáveis).

Esta iniciativa foi decomposta posteriormente em vários programas de índole nacional, nos vários países europeus, sendo que Portugal adotou em 2017, a iniciativa “Portugal Indústria 4.0” sobre a chancela do Ministério da Economia e em parceria com a COTEC e outras entidades público-privadas.

Assumindo a 4ª Revolução Industrial como uma clara oportunidade para impulsionar a competitividade nacional (COTEC, 2017), o programa intenta atingir 3 ensejos: um primeiro que passa pela aceleração da adoção de tecnologias I4.0, a promoção das empresas tecnológicas no mercado internacional em seguida, e por fim tornar Portugal reconhecido como plataforma de investimento na área da Indústria 4.0.

Para tal, foram identificadas 6 áreas de intervenção que suportam a estratégia a seguir na sua implementação: capacitação dos recursos humanos, criação de ecossistema de cooperação tecnológica, *StartUp* i4.0, financiamento e apoio ao investimento, internacionalização e adaptação legal e normativa.

Tornou-se por isso necessário criar uma métrica para medir as condições de base e a competitividade das empresas nacionais, no que à Indústria 4.0, diz respeito. Essa ferramenta de diagnóstico recebeu o nome de “*Scoreboard i4.0*” e visa permitir a caracterização da realidade e a monitorização da evolução portuguesa neste âmbito, bem como permitir a comparação com

as suas congéneres europeias, servir como método identificativo de melhorias e quantificar os seus impactos para a economia e sociedade. Este índice assenta em 2 pilares, 8 dimensões e 35 indicadores.

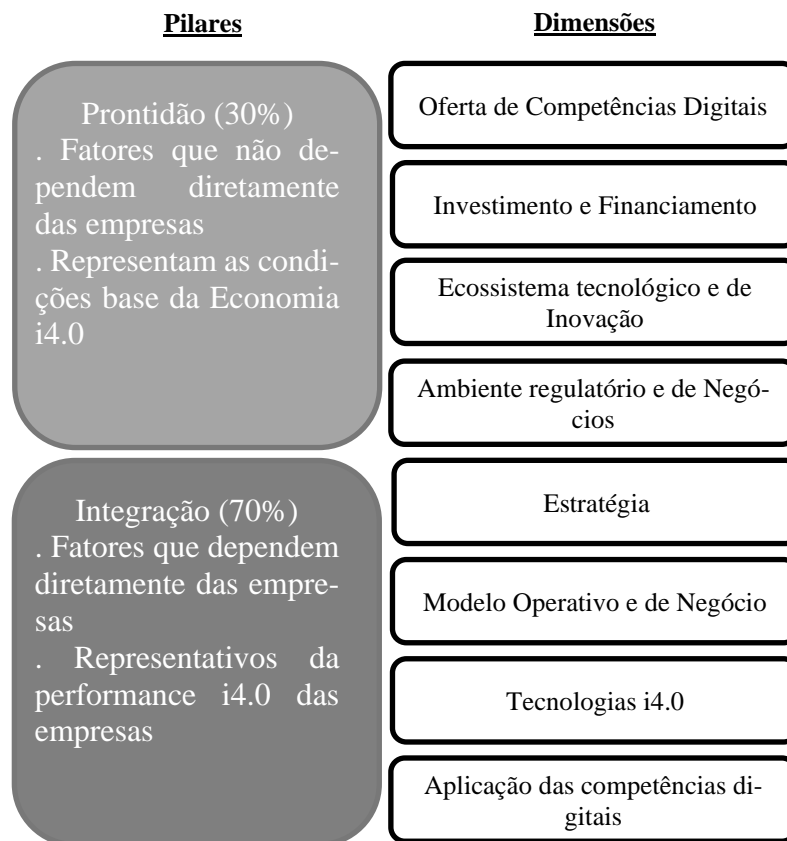


Figura 1.1. – Macroestrutura i4.0 Index (adaptado pelo autor de COTEC, 2017)

A avaliação das empresas neste modelo, tem a sua fonte nas ferramentas internacionais de diagnóstico, tendo sido considerados 12 índices, entre os quais se destacam o *Digitization Index*, o *The Global Competitiveness Report* e o *Digital Transformation Scoreboard*.

Na apresentação do “Índice i4.0 – *Scoreboard* Atualização 2019”, a COTEC conclui que a indústria portuguesa apresentou uma evolução mais lenta durante 2018, quando comparada com a média dos 18 países em estudo. O *index* revela ainda que esta performance advém da melhoria dos fatores externos às empresas (pilar “Prontidão” que representa 30% da avaliação) e de uma perda de competitividade do pilar “Integração” cuja responsabilidade recai diretamente nas empresas.

É sobre este último pilar, o qual se foca nas responsabilidades diretas das empresas industriais na implementação do conceito indústria 4.0, que o presente trabalho pretende atuar,

corroborando ou não, as conclusões do *Scoreboard 2019* que apresenta a área estratégica e a adoção de tecnologias I4.0, como aquelas nas quais as indústrias portuguesas obtêm uma menor performance.

### 1.3. Objetivos e questões de pesquisa

Procurando dar resposta ao apresentado no subponto anterior, foram definidos os seguintes objetivos:

1. Percecionar se a estratégia de digitalização da empresa alicerçada nos pilares da Indústria 4.0, está considerada na estratégia global da organização;
2. Identificar as principais barreiras para uma válida adoção da tecnologia pretendida;
3. Entender qual o impacto expectável pelas empresas no momento da implementação das ações relacionadas com a Indústria 4.0;
4. Perceber de que modo podem as empresas industriais portuguesas proceder a uma correta análise do seu “estado da arte”.

Para tal, deverão ser encontradas respostas para as seguintes questões:

1. De que forma está o conceito I4.0 a ser interiorizado pela indústria portuguesa, considerando a existência de uma estratégia clara e integrada, ou, se pelo contrário, serão as medidas implementadas avulsas e pouco objetivas?
2. Quais os pilares mais utilizados para a obtenção deste propósito e de que modos são implementados pelas unidades?
3. Quais os principais desafios sentidos na implementação do conceito I4.0 e serão eles de índole humana, tecnológica ou financeira?
4. Em que aspetos da empresa serão sentidos os efeitos da implementação das atividades I4.0 e como serão os mesmos afetados?
5. Serão os modelos de maturidade as ferramentas indicadas para um correto *assessment*?
6. Entre os modelos de maturidade existentes, quais aqueles que as organizações devem considerar para levar a cabo o propósito de aferição do estágio de digitalização das

mesmas: utilizarão a abordagem sugerida pelas grandes consultoras ou deverão seguir uma linha sustentada pela Academia?

#### **1.4. Estrutura da tese**

Procurando atingir os objetivos definidos e responder às questões de pesquisa, a dissertação aqui apresentada foi estruturada da seguinte forma: no capítulo introdutório dá-se conta do enquadramento da tese, da problemática de investigação e são referenciados os elementos motivadores da elaboração do estudo – os objetivos e questões de pesquisa.

A revisão da literatura está dividida em dois capítulos: inicia-se no capítulo II com uma contextualização histórica relativa às várias revoluções industriais, passando em seguida para uma abordagem de pendor micro, onde se aprofunda o tema da Indústria 4.0, apresentando o conceito motivador desta mudança de paradigma industrial, descrevendo a base de suporte do tema (os 9 pilares da I4.0) e referindo os impactos expectáveis (benefícios e barreiras) decorrentes da implementação da Indústria 4.0. O capítulo termina com a descrição do panorama Indústria 4.0 em Portugal, baseado em três estudos efetuados pela *PwC*, *NovaSBE* em parceria com a *EY*, e pelo ISQ juntamente com o IAPMEI.

No capítulo III e dando continuidade à revisão de literatura, aborda-se de que maneira devem as organizações efetuar a avaliação do seu estado de maturidade digital, apresentando três dos mais utilizados modelos de maturidade: o modelo “I40MM” utilizado na Alemanha e Áustria, o modelo “IMPULS” com aplicação no estudo da maturidade da indústria sueca, e por fim o modelo “ACATECH” usado na Dinamarca. Todos estes modelos foram escalpelizados, apresentando-se para cada um deles a sua estrutura, as dimensões avaliadas e os respetivos estágios de maturidade.

No capítulo IV, procede-se à abordagem teórica, onde cada uma das questões de pesquisa, é justificada com base na revisão da literatura considerada relevante para o tema abordado e que servirá de apoio para a componente prática do estudo.

De seguida, no capítulo V, são apresentados o modelo de investigação utilizado e a caracterização da amostra, correspondendo estes dois subcapítulos à metodologia aplicada.

A apresentação e discussão de resultados, estão presentes no capítulo VI, no qual as respostas decorrentes das entrevistas são analisadas e comparadas com os resultados de outros autores, nomeadamente os referidos nos capítulos II e III, retirando-se daí as conclusões finais que esta dissertação se propôs apresentar.

O capítulo VII representa o término deste trabalho, onde são apresentadas as considerações finais, as contribuições deste estudo para a implementação do conceito Indústria 4.0, e as limitações percebidas no decorrer do estudo, assim como sugestões para futuras investigações.



## Capítulo II – Contextualização histórica e conceito I4.0

### 2.1. As revoluções industriais

Ao longo da história da Humanidade existiram momentos marcantes que representam etapas importantes no desenvolvimento da sociedade. Assim aconteceu com o sector industrial, no qual, a partir do século XVIII e até aos nossos dias, se identificam quatro grandes eventos que foram batizados com o nome de Revoluções Industriais, representando mudanças drásticas e disruptivas em todo o processo produtivo.

Com origem em Inglaterra no final do século XVIII, a primeira revolução industrial resulta da introdução da máquina a vapor no processo produtivo (Jensen, 1993) e marca a transição dos métodos de produção artesanais para os processos de produção mecanizados. Esta inovação representou um aumento dos níveis de produtividade e consequentemente um acréscimo do capital produzido, transformando o Reino Unido na primeira potência industrial mundial.

Do advento da eletrificação e da criação das linhas de montagem, nasceu o conceito da produção em massa, característica principal da segunda revolução industrial (1880-1950) que surge como fase de desenvolvimento da primeira revolução, onde a otimização dos tempos de produção, a redução de custos e o contínuo aumento das taxas de produtividade são motor desta mudança em virtude da adequação de novas metodologias alicerçadas em tecnologias recentes (Jensen, 1993).

A terceira revolução industrial representou a globalização da indústria no mundo (Stearns, 2018), estando cronologicamente limitada ao período entre 1950 e 2000, e na qual, novos desenvolvimentos tecnológicos suportados na eletrónica e automação possibilitaram a utilização de sistemas robotizados e a introdução de sistemas numéricos e de informação, permitindo a produção automatizada.

Da introdução de sistemas ciberfísicos originados na fusão entre o mundo real e o mundo virtual, nasce a quarta revolução industrial, na qual pessoas, produtos e equipamentos estão conectados através da internet, interagindo entre si, o que permite a esses sistemas a análise de dados, a previsão de falhas e a sua constante reconfiguração e adaptabilidade de acordo com as necessidades dos clientes (Huxtable e Shaefer, 2016).

## 2.2. Indústria 4.0

*“Encontramo-nos no limiar de uma nova era, um novo salto tecnológico, um novo paradigma. A quarta revolução industrial chegou e promete mudanças determinantes”. (Kagermann et al., 2011)*

Apresentado em 2011 num evento em Hannover no âmbito de uma iniciativa do governo alemão, tendo em vista um aumento da competitividade industrial do país e baseado numa estratégia de tecnologia avançada (Mosconi, 2015), o conceito Indústria 4.0 alargou-se ao resto do mundo, assumindo outras designações, nomeadamente na China (*Made in China 2025*), ou na França (*L’Usine du Future*), a título de exemplo.

Independentemente da designação utilizada, o termo “Indústria 4.0” açambarca os mais recentes avanços tecnológicos, os quais levam a uma mudança organizacional suportada na automatização e digitalização de processos, assim como o desenvolvimento de novas cadeias de valor digitais (Oesterreich & Teuteberg, 2016) e à criação de ecossistemas próprios caracterizados por ambientes inteligentes sustentados na comunicação entre humanos, equipamentos e produtos durante o processo produtivo (Albers *et al.*, 2016).

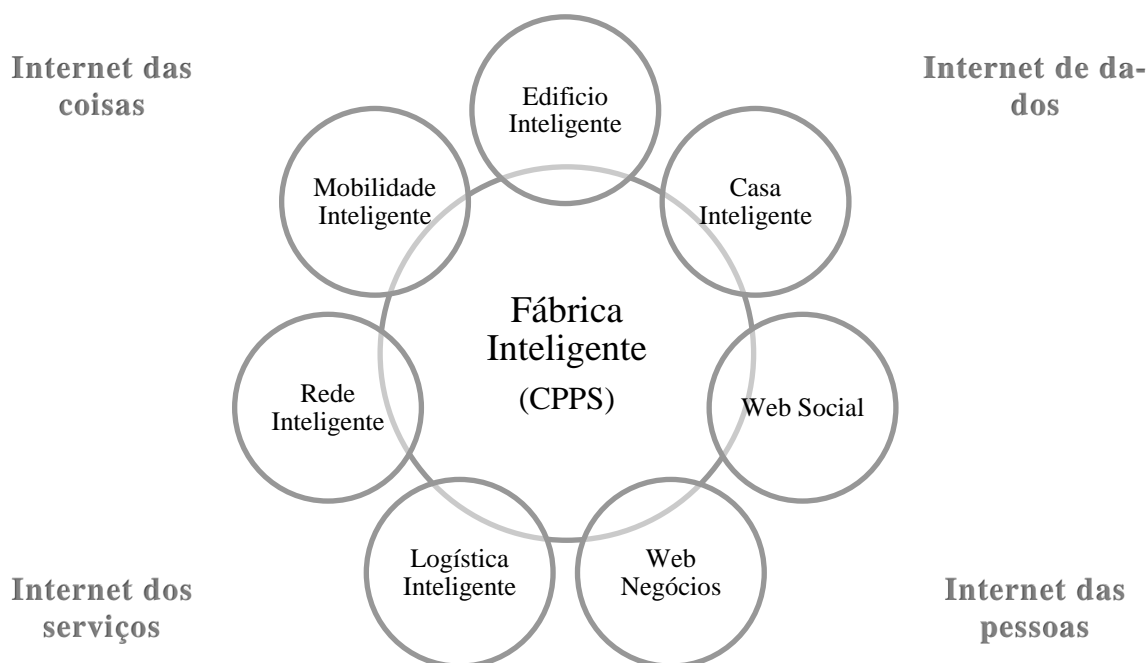


Figura 2.1. – Ecossistema I4.0 (adaptado pelo autor de Delloite, 2017)

De acordo com Óscar Afonso (2018), o conceito de Indústria 4.0 refere-se à evolução tecnológica que tem como origem os *embedded systems* e destino final os *cyber-physical systems*, anunciando dessa forma a quarta revolução industrial.

*“Alicerçada na IoT, implica uma mudança do paradigma atual de “centralização” da produção para uma maior “descentralização” da produção, permitida pelo acumular de mudanças tecnológicas. A produção deixa de estar cingida ao produto in loco e surge uma nova realidade em que o produto comunica com a rede de produção, transmitindo diretrizes e reacendendo o processo conforme necessário. A aplicação de inteligência descentralizada cria um sistema de redes em que os objetos comunicam entre si, conferindo independência e autonomia ao processo de produção. A integração e interoperabilidade entre o mundo real e os comandos virtuais representam um aspeto crucial do novo paradigma de produção.” (Afonso, 2018)*

Esta quarta revolução industrial é fortemente induzida pela transformação e compilação de informação de próxima geração, baseada na Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), na computação em nuvem, no *Big Data* e análise de dados, na robótica, na simulação digital, na impressão 3D, para referir somente alguns exemplos.

Tendo como principais objetivos o aumento da qualidade dos produtos, a redução dos tempos de entrega, o desenvolvimento de produtos e serviços inovadores e a modernização de processos, tornando assim a indústria mais eficiente, foram apresentados por Rüßmann *et al.* (2015) nove pilares fundamentais para a sustentação e proliferação da Indústria 4.0: 1) Internet das Coisas (extensão da conectividade de rede e capacidade de computação para objetos, dispositivos, sensores e outros artefactos que não são normalmente considerados computadores, potenciando a sua autogestão); 2) *Big Data* e análise de dados (dados e respetiva análise que normalmente excedem a capacidade convencional estipulada ao nível do armazenamento, processamento e computação – Najafabadi *et al.*, 2015); 3) Robots autónomos (mecanismos capazes de realizar tarefas com elevado grau de autonomia); 4) Simulação (simulação digital de produtos e processos produtivos); 5) Integração Horizontal (colaboração entre parceiros externos, clientes e fornecedores) e Integração Vertical (colaboração transversal dentro da empresa, apoiada em sistemas inteligentes de produção, com pontos de contacto entre o desenvolvimento de produto, produção, logística e área comercial); 6) Serviços de *Cloud* (armazenamento de dados com acessos em serviços externos de *cloud*); 7) Cibersegurança (prática que visa a proteção de todos os equipamentos conectado na rede – computadores, servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrónicos, dados, assim como a própria rede – de ataques maliciosos); 8) Produção aditiva (também conhecida por Impressão 3D, baseia-se na

construção de modelos tridimensionais através da sobreposição sucessiva de material; 9) Realidade Aumentada (utilizada atualmente em tarefas de manutenção, onde através de equipamentos próprios – normalmente, óculos de realidade aumentada – os operadores recebem instruções de trabalho de acordo com o protocolo estipulado).

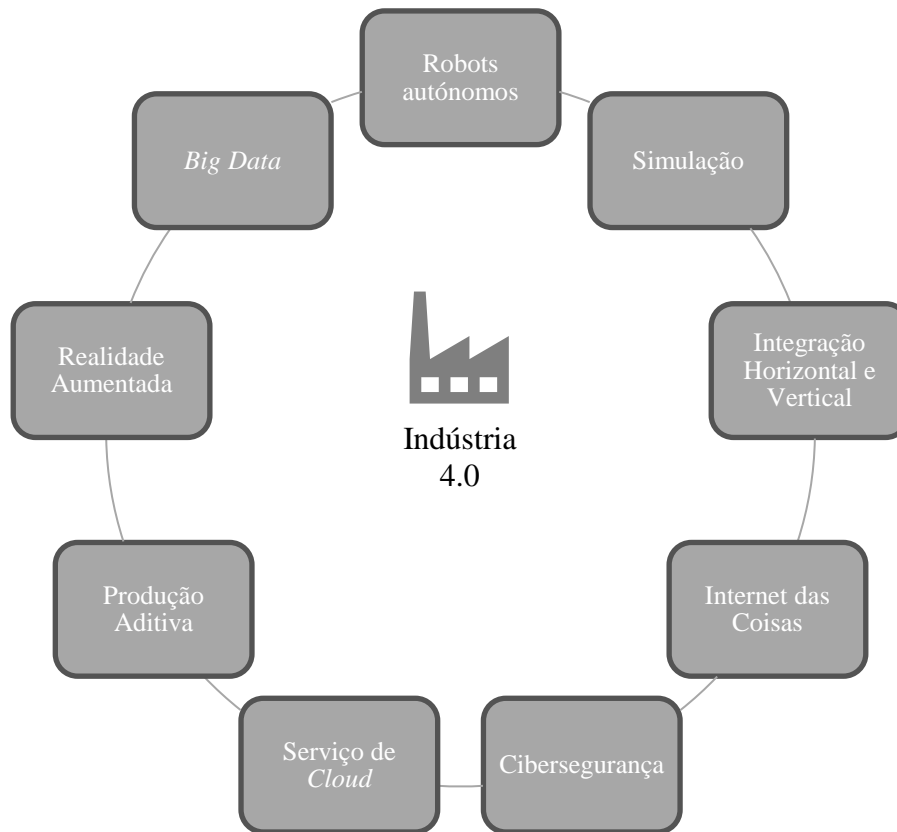


Figura 2.2. – Os 9 Pilares da Indústria 4.0 (adaptado pelo autor de Rüßmann et al,2015)

A Indústria 4.0 é então caracterizada pela aplicação de tecnologia em todos os elementos integrantes dos processos, o que leva a uma gestão mais flexível e ágil com processos de controlo mais eficientes e diferenciadores, comparativamente com modelos de gestão menos avançados tecnologicamente.

Contudo, a implementação e sustentação do conceito e metodologia destes sistemas, envolve muito mais do que somente a componente tecnológica, devendo também considerar-se a componente humana (predisposição e adequação à mudança por parte dos recursos humanos da empresa, formação adequada e empenho da gestão), à qual se junta a componente organizacional (cultura corporativa compreendida e assumida por todos os intervenientes dos vários processos e que considere a integração de sistemas inovadores), levando assim à criação de redes sustentáveis (Oks *et al.*, 2017).

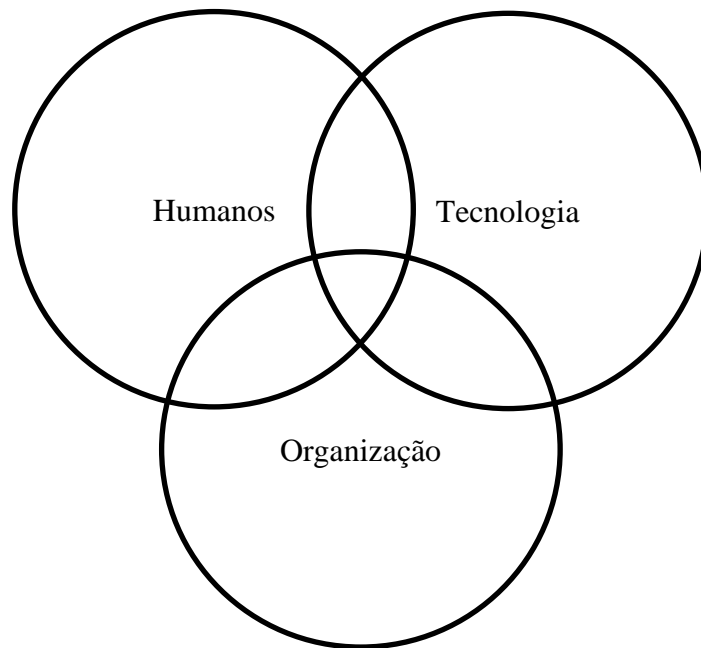


Figura 2.3. – Modelo “Humanos-Organização-Tecnologia” (adaptado pelo autor de Oks et al., 2017)

### 2.3. Ferramentas Indústria 4.0

Os pilares referidos por Rüßmann *et al.* (2015) formam uma plataforma sustentada num conjunto de características que devem estar presentes nas tecnologias que servem de base para uma mais ampla compreensão e implementação do conceito Indústria 4.0 nas unidades industriais. Os atributos destas características batizadas como *design principles* (Hermann *et al.*, 2016) procuram a sistematização da informação em meio industrial, devendo corresponder a uma série de conceitos, dos quais se destacam: a conectividade e a digitalização, a segurança, a fiabilidade, a escalabilidade, a adaptabilidade, a eficiência, a capacidade preditiva, a interoperabilidade, a integridade e a precisão (Gunnes *et al.*, 2014).

A utilização desta tecnologia permitirá a transformação de todo o processo produtivo levando à fusão das tradicionais células isoladas e otimizadas, originando um fluxo produtivo otimizado, automatizado e totalmente integrado, o que resulta em ganhos de eficiência e alterando as relações entre fornecedores, produtores e clientes (Rüßmann *et al.*, 2015).

### 2.3.1 A Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas visa a troca de dados e informações em tempo real entre os sistemas produtivos e respetivos controladores, possibilitando a existência das chamadas “operações inteligentes”.

Monostori (2014) refere a obtenção de ganhos de qualidade e produtividade em todo o processo, no qual esta tecnologia de informação transversal a toda a cadeia de valor permite a comunicação e cooperação entre todos os intervenientes (sejam eles subsistemas, máquinas, produtos, clientes, fornecedores ou operadores).

### 2.3.2 Big Data

O *Big Data* foi definido por Azevedo (2017) como o “conjunto de métodos e tecnologias que se referem à aquisição, armazenamento e processamento de dados que, por volume, por frequência ou por tipologia têm que ser tratados de forma não convencional”.

A massificação da utilização de sensores, a existência de redes interconectadas e a aplicabilidade de softwares de gestão, tem levado a um aumento significativo do volume de dados gerados pelas empresas. Urge por isso, ir além do uso convencional do *Big Data* (estejam esses dados estruturados ou não), procurando a obtenção de *inputs* capazes de suportar decisões estratégicas, a identificação de problemas em tempo real e a descoberta de tendências, entre outros, criando metodologias que visem um aumento da produtividade, uma redução de custos ou até a calendarização de manutenção preventiva.

O grande propósito do *Big Data* é transformar dados em informação útil. A análise preditiva visa o auxílio na gestão empresarial, desenhando futuras possibilidades, nas mais diversas áreas de atuação de uma empresa (Oliveira, 2019). Recorrendo à tecnologia existente aliada à algoritmia matemática, aos métodos de análise estatística, à inteligência artificial e ao *machine learning*, as decisões deixam de ser meramente intuitivas tornando-se mais lógicas e estratégicas (Esmaeilian *et al.*, 2016).

### 2.3.3 Robots autónomos

Procurando definir novos padrões de competitividade industrial, a utilização de postos de trabalho automatizados, de equipamentos autónomos de movimentação de carga, de veículos sem condutor e de operadores automáticos, é já uma realidade sobretudo em geografias com grande incidência em processos de inovação e custos de mão de obra elevados.

Com o passar do tempo, estes equipamentos estão a tornar-se cada vez mais autónomos, flexíveis e cooperativos. Sustentados em tecnologias de Inteligência Artificial e sistemas de aprendizagem de máquinas, é expectável uma alteração da organização do processo de trabalho, desenvolvendo interações entre estes e os humanos através da sensorização de ponta e de unidades de controlo. Atualmente é possível observar a execução de tarefas conjuntas (*robot-humano*) com interações no mesmo espaço físico sem a existência de risco ou perigo para o funcionário (Rüßmann *et al.*, 2015).

### 2.3.4 Simulação

A simulação digital dos processos, assim como a modelação dos mesmos (através de *digital twins*, por exemplo), permitem a operacionalização e monitorização dos processos produtivos, levando a um aumento da produtividade e redução de perdas operacionais, devido à facilidade com que se podem reconfigurar os processos, reduzindo simultaneamente os tempos de *setup* e de testes.

Basicamente e numa perspetiva simplista, estas simulações replicam o mundo real num modelo digital, através da utilização de dados reais, incluindo todas as variáveis existentes numa indústria, como pessoas, produtos e equipamentos (Rüßmann *et al.*, 2015).

### 2.3.5 Integração horizontal e vertical

Colaboração interna e externa ao longo de toda a cadeia de valor, é o mote para este pilar da indústria 4.0. A colaboração externa ou integração horizontal refere-se à troca de informação entre parceiros externos, clientes e fornecedores. Já a colaboração interna ou integração vertical, diz respeito à partilha de dados e à criação de vias comunicacionais dentro dos vários departamentos da empresa.

Com a Indústria 4.0, empresas, departamentos, funções e recursos tornar-se-ão muito mais coesos, à medida que as redes de integração entre empresas forem evoluindo, permitindo dessa forma cadeias de valor verdadeiramente automatizadas (Rüßmann *et al.*,2015).

### **2.3.6 Serviços de *cloud***

O *cloud computing* está largamente difundido na maioria das empresas industriais, sendo a sua utilização possibilitada pelo desenvolvimento da infraestrutura de redes e internet, e pela evolução das tecnologias relacionadas com a armazenagem e transmissão de dados, sendo considerada uma das funcionalidades base da Indústria 4.0 (Bierhold, 2018)

De acordo com Gunes *et al.* (2014), esta ferramenta permite o acesso em rede a uma central de recursos, à utilização otimizada e controlada dos recursos existentes, a uma diminuição do esforço relacionado com a gestão de *software* e *hardware*, assim como uma maior capacidade de computação. Dessa forma, torna-se possível a existência de atividades simultâneas e partilhadas entre os vários departamentos da empresa, ou mesmo entre diferentes empresas, bem como a disponibilização de toda a informação a partir de um ponto único, e um maior controlo ao acesso dos dados partilhados.

Tendo como maiores expectativas um aumento da agilidade, a escalabilidade, o acesso remoto e descentralizado, assim como a virtualização do processo, o *cloud computing* resulta no armazenamento de dados em servidores remotos e interligados com a infraestrutura da internet. Desta forma, todo o acesso à informação pode ser realizado através de um qualquer dispositivo conectado à internet e a qualquer momento, levando a melhorias da fiabilidade e da própria qualidade dos sistemas de informação (Rüßmann *et al.*,2015).

### **2.3.7 Cibersegurança**

Com o aumento da conectividade, qualquer estrutura física conectada na *web* está claramente mais exposta à ameaça de um ataque cibernético. Surge assim a necessidade de criação de uma linha de defesa assegurando uma maior proteção aos sistemas industriais e demais processos.

Considerando como ponto crítico de sucesso para a área industrial a proteção dos dados e da informação gerada e armazenada (Rüßmann *et al.*,2015), a cibersegurança assume-se como um desafio para as empresas I4.0, devido à importância fulcral que reveste o fornecimento e



disponibilização da informação a fontes verificadas, seguras e confiáveis através de sofisticados sistemas de identificação de acesso quer a máquinas, quer a utilizadores humanos.

A segurança das instalações digitais deve portanto, considerar diferentes estratégias para identificação e implementação medidas protetoras, das quais se destacam o uso de uma *framework* padrão, a utilização de *firewalls*, o *blockchain* e a criptografia quântica (Schuh *et al.*, 2017).

### 2.3.8 Produção aditiva

Também chamada de Impressão 3D, a produção aditiva consiste na sobreposição de camadas de um determinado material até à formação do produto final pretendido.

Na aplicação industrial esta tecnologia permite uma maior versatilidade e flexibilidade, sendo bastante utilizada na produção de moldes, no desenvolvimento de protótipos e na criação de modelos de produtos inovadores, levando à redução dos *timings* de lançamento de novos produtos (devido à rápida prototipagem e à simplificação de toda a cadeia logística), a uma redução de custos em toda a cadeia de valor e a uma maior capacidade inovativa. É ainda utilizada na produção de pequenos lotes de produtos customizados, proporcionando ainda vantagens no que à construção de produtos complexos e leves diz respeito.

Sendo uma tecnologia que está num estágio inicial de aplicabilidade por parte dos utilizadores, é já apontada como tendo um potencial disruptivo considerável, pois o seu impacto na cadeia de valor não é de desprezar, uma vez que possibilita a produção por utilizadores particulares, permitindo que o consumidor final incorpore o papel das várias etapas do processo (design, produção e consumo) desde que tenha acesso ao *hardware* e *software* necessários para tal.

### 2.3.9 Realidade aumentada

Recorrendo a interfaces de comunicação entre o mundo físico e o mundo virtual e alavancada em protocolos de comunicação e *softwares* visuais suportados por dispositivos móveis, a realidade aumentada é uma tecnologia que visa a facilitação da interação máquina-humano.

Reproduzindo os elementos do mundo virtual no mundo físico, recorrendo a câmaras e sensores, tem uma grande aplicabilidade nas áreas de projeto, de formação e na área da manutenção, onde, com a inserção de objetos virtuais nos ambientes existentes é possível fornecer

ao operador orientação e instruções em tempo real, assim como fazer uma verificação das atividades efetuadas.

É expectável uma maior difusão desta tecnologia face ao potencial de desenvolvimento apresentado e à possibilidade de integração com outras tecnologias I4.0, tais como modelos de operação remota e inteligência artificial, entre outras (Rüßmann *et al.*,2015).

## **2.4 Impactos expectáveis na implementação i4.0**

Kagermann *et al* (2013) considera a indústria 4.0 com tendo um potencial extremamente ambicioso, prometendo uma maior eficácia operacional, um aumento de produtividade, crescimento do volume de negócios, assim como uma melhoria da competitividade, levando ainda ao desenvolvimento de novos modelos de negócios, de novos serviços, e de novos produtos. A implementação efetiva do conceito e da sua tecnologia, passa, segundo Kagermann *et al.* (2013) pela adoção de vários tipos de integração: a integração vertical – ocorrida ao nível interno e no ciclo de conceção do produto, a integração horizontal – relacionada com a cadeia de valor, e por fim com a integração digital – introdução de mecanismos de engenharia digital ao longo do ciclo de vida do produto e da sua cadeia de valor.

Ao encetar um percurso que vise a adoção da Indústria 4.0, as organizações devem começar por analisar e avaliar as suas capacidades, adaptando as estratégias e procurando implementá-las nos cenários pretendidos. Num estudo desenvolvido pelo *Centre for Strategy & Evaluation Services* LLP (CSES) a pedido do Parlamento Europeu em 2016, a implementação da Indústria 4.0 só será bem-sucedida se alguns requisitos-chave forem atingidos: standardização de sistemas TIC, das suas plataformas e protocolos; organização de trabalho a refletir novos modelos de negócio; segurança digital e proteção de propriedade intelectual; disponibilidade de mão-de-obra especializada; inovação, desenvolvimento e investimento; integração de PME's e a existência de um quadro legal comum. Da sua correta implementação é expectável ganhos de produtividade, um aumento de receita e uma maior competitividade industrial.

Para tal, os autores consideram 3 dimensões de mudança: mudança tecnológica, mudança social e mudança de paradigma de negócio. Na mudança tecnológica, a digitalização apresenta-se com a maior responsabilidade na condução de alterações ao longo de toda a cadeia de valor. O CSES elenca vários desafios nesta área, destacando as questões de cibersegurança relacionadas com a proteção da propriedade intelectual, com a proteção de dados, e com a estrutura e operacionalidade dos sistemas de informação.

A necessidade de dotação de competências digitais por parte dos funcionários, é uma das maiores preocupações que a mudança social acarreta. Considerando existir pouca consciência do problema na indústria (excetuando os principais *stakeholders*), o impacto pode tanto ser positivo como negativo para os recursos humanos, dependendo da resposta que exista.

A mudança de paradigma de negócio apresenta maiores desafios para as PME's, pois os riscos, os custos, a pouca flexibilidade e a reduzida capacidade estratégica apresentam-se como barreiras para a implementação do conceito Indústria 4.0.

Considerando a existência de uma concordância geral entre a comunidade académica, no que aos benefícios de uma correta implementação I4.0, diz respeito, também ao nível dos desafios ou barreiras existe uma tendência registada no mesmo sentido.

De Carolis *et al.* (2017) apresentam uma lista de obstáculos a superar no momento da passagem para a Indústria 4.0, onde 11 barreiras são identificadas e cuja resolução é fundamental para assegurar o sucesso do processo de transformação I4.0: a incerteza relacionada com a dimensão do investimento e o seu retorno, ao qual se juntam o desconhecimento relativo ao custo da implementação; a problemática existente na interligação comunicacional entre a “velha” e a “nova” tecnologia; a complexidade *vs* usabilidade; a questão dos dados (proteção e privacidade); a interoperabilidade e integração; as dificuldades estruturais na passagem para uma indústria baseada em sistemas ciberfísicos; a imaturidade dos sistemas utilizados (sem histórico de funcionamento); a proteção e segurança dos recursos humanos; a transformação das tecnologias anteriores para tecnologias recentes; o enquadramento legal e regulamentações sobre a organização de trabalho; e por fim a gestão da complexidade do processo.

Do decorrer do estudo realizado por Glass *et al.* (2018), onde foram inquiridas 253 empresas germânicas relativamente às dificuldades sentidas pelas mesmas no momento da implementação, sobressaem as seguintes barreiras ao processo: as más condições externas (sejam elas legais, estruturais,...); a falta de integração tecnológica; impossibilidade para a standardização; desconhecimento relativo ao conceito; o elevado risco do investimento; a dificuldade sentida na criação de uma estratégia para a Indústria 4.0; o risco inerente à perda de dados e à possibilidade de intervenção externa maliciosa; a inexistência de mão-de-obra qualificada; customização desadequada; o indesejado aumento da flexibilidade por parte da força de trabalho; a complexidade excessiva; a dificuldade sentida na cooperação ao longo da cadeia de valor; a baixa maturidade das tecnologias; a inexistência de necessidade de alteração do modelo de negócio; e a falta de suporte pela gestão de topo.

## 2.5 A Indústria 4.0 em Portugal

Em Portugal e à semelhança dos países pertencentes à União Europeia (UE), a implementação da Indústria 4.0 está a ser dinamizada pelo governo central através de programas coordenados pela Comissão Europeia (CE) inseridos na Estratégia de Digitalização da Indústria lançada em abril de 2016. No seguimento desta ação da CE, em Janeiro de 2017, o Governo Português através do Ministério da Economia, lançou a iniciativa “Portugal i4.0” composta por 64 medidas, cuja missão passa por acelerar a adoção da Indústria 4.0 pelo tecido empresarial nacional, pela promoção de fornecedores tecnológicos portugueses como *experts* I4.0, tornando Portugal num polo atrativo para o investimento na Indústria 4.0.

De acordo com a COTEC (entidade portuguesa responsável pela coordenação e gestão da Plataforma Portugal i4.0), a estratégia foi desenhada considerando interações com 88 empresas e 25 entidades (entre Universidades e associações empresariais), que por via de entrevistas, audições e *workshops*, sugeriram um conjunto de medidas validadas posteriormente por um Comité Estratégico. Numa fase inicial (“abordagem demonstradora e mobilizadora”), a iniciativa permitiu requalificar e formar mais de 20.000 trabalhadores dotando-os de competências digitais, com impacto direto em aproximadamente 50.000 empresas. Na segunda fase (“abordagem transformadora”, ainda a decorrer atualmente), pretende-se alargar o âmbito a mais 20.000 empresas e a 200.000 colaboradores.

Não obstante, Portugal tem sido colocado à margem dos estudos relacionados com a Indústria 4.0, sendo que a primeira participação portuguesa neste âmbito foi feita em 2016 e pela consultora PwC, sendo os resultados apresentados em setembro do mesmo ano no relatório “*PwC Global Industry 4.0*”, de onde se destacam as principais conclusões, relativamente ao caso português (Antunes *et al.*, 2019): 34% das empresas consideram estar num nível avançado de digitalização, alinhadas com os resultados globais (33%); 86% das empresas industriais portuguesas, ambicionam atingir nos próximos 5 anos elevados níveis de digitalização, revelando uma expectativa acima do resultado global (72%); é esperado um aumento médio de receita até 10% por 57% das empresas, uma redução de custos acima dos 10% em 55% das empresas e um ganho de eficiência superior a 10% em cerca de 70%; o *Big Data* é utilizado em 44% das companhias portuguesas na melhoria da sua relação com os consumidores; a falta de cultura digital e formação, é apresentada por 50% do tecido empresarial nacional observado como uma barreira ao desenvolvimento operacional digital; 61% apresentam preocupações com a cibersegurança, assim como com as implicações legais que uma falha de segurança possa implicar; a análise de dados é assumida como de particular relevância por 41% das inquiridas;

60% das empresas esperam um retorno do investimento em 2 anos; 7% consideram estar num nível avançado de maturidade, 59% num estado intermédio e 32% num estágio fraco.

A *NovaSBE Center for Digital Business & Technology* em parceria com a *EY*, apresentou em outubro de 2018 o “Estudo da Maturidade Digital das empresas portuguesas”, onde procurou aferir os níveis de maturidade e de confiança digital das empresas portuguesas, e do qual se retiram algumas conclusões que evidenciam a realidade portuguesa: existe um otimismo generalizado e confiança na transformação digital e as empresas participantes no estudo acreditam estar bem posicionadas nos seus processos; a transformação digital já se iniciou, encontrando-se porém ainda numa fase inicial e apenas algumas empresas acreditam estarem atrasadas face aos concorrentes; parecem existir indícios de ideias e de líderes com capacidade para pensar a transformação digital nos seus negócios e nas suas empresas, mas verifica-se um *gap* significativo entre a formulação estratégica e a sua implementação; o investimento e adoção de tecnologia parece seguir primeiro uma imitação de outros atores e só depois adequação da tecnologia ao contexto; as tecnologias digitais mais adotadas pelas empresas são as Redes Sociais e *Marketing Digital*, *Big Data* e *Analytics*, *Cloud Computing* e *IoT (Internet of Things)*, havendo diferenças setoriais no nível de implementação das mesmas.

Já em 2019, foi lançada pelo Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) com o apoio do IAPMEI, uma ferramenta de autodiagnóstico – a “*SHIFTo4.0*”, que pretendia proceder à avaliação do estado de maturidade do tecido industrial português e, tendo por base essa inquirição, fornecer recomendações que visassem o aumento do nível I4.0. Contando com a participação de empresas de vários sectores industriais, obtiveram um *score* médio de 1.47, tendo os níveis de maturidade variado entre o 0 (no valor mínimo) e o valor máximo de 3. As dimensões que mais negativamente influenciaram este resultado são: fábricas inteligentes, produtos inteligentes e os serviços baseados em dados. Dispondo-se a trabalhar com maior incidência nas dimensões referidas, as indústrias inquiridas pretendem num prazo de 5 anos, atingir um nível médio de maturidade na ordem dos 3.07. Este inquérito baseado no modelo IMPULS, constata a necessidade de incremento das ações de sensibilização para o tema, do reforço da formação (tanto para a gestão de topo, como para quadros técnicos) e o aumento da capacitação da consultoria no apoio às empresas em processo de implementação de tecnologias I4.0 (Gouveia *et al.*, 2019).



## Capítulo III – Modelos de Maturidade

### 3.1 O *assessment* da Indústria 4.0

A mudança de paradigma industrial não ocorre de forma instantânea, sendo consensual entre a comunidade académica de que adoção de novas metodologias e de tecnologias inovadoras, assim como a perceção dos seus benefícios por parte dos intervenientes é alongada no horizonte temporal. Tal situação está relacionada com as mudanças em chão de fábrica, com a organização, com o produto/serviço e com os canais comunicacionais estabelecidos entre os *stakeholders* (Qin *et al.*, 2016).

Segundo Oliveira & Kaminski (2012), é importante que no processo de seleção de ferramentas e tecnologias para o desenvolvimento de um determinado processo produtivo, se utilizem modelos que avaliem a maturidade digital e tecnológica, assim como o grau de inovação de uma organização para a indústria 4.0.

Têm sido adotados modelos que avaliam a maturidade tecnológica e de inovação das empresas relativamente à Indústria 4.0, procurando ser suporte de tomada de decisão no momento da escolha das ferramentas e tecnologias mais adequadas aos interesses das empresas (Colli *et al.*, 2018).

Os países considerados na vanguarda da aplicação do desenvolvimento tecnológico têm pautado esta análise de maturidade através da aplicação de três modelos principais. A Alemanha e Áustria utilizam o modelo proposto por Schumacher *et al.* (2016), composto por 9 dimensões e 62 itens de maturidade; já a Suécia aplica o modelo IMPULS de Lichtblau *et al.* (2015), onde existem 6 dimensões detalhadas em 18 campos (Machado *et al.*, 2019); finalmente, a Dinamarca apresenta o modelo ACATECH de Schuh *et al.* (2017), analisando 4 dimensões.

Os processos de transformação digital envolvem atividades multidisciplinares, que obrigam à existência de especialistas nas diversas áreas, cenário que não acontece em todas as empresas (com particular incidência nas PME's).

Os modelos de maturidade apresentados variam em 3 dimensões: número de estágios/etapas digitais, número de dimensões que abrangem as várias áreas da organização e a estratégia de implementação, apresentando contudo, a mesma estrutura relativamente à progressão, desenvolvimento e conceitos em cada um dos estágios. Com os dados organizados, permite-se à Organização a identificação dos pontos fracos passíveis de melhorias através de atividades pré-definidas de acordo com o grau de maturidade digital identificado.

Tabela 3.1. – Modelos de Maturidade Indústria 4.0 (adaptada pelo autor de Colli et al., 2018)

Modelo de Maturidade	Estágios de Maturidade	Dimensões	Considerações
I4.0MM Schumacher et al. (2016)	Escala de <i>Likert</i> (1 a 5)	Nove dimensões, avaliadas em 65 pontos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estratégia</li> <li>2. Liderança</li> <li>3. Produtos</li> <li>4. Clientes</li> <li>5. Operações</li> <li>6. Cultura Organizacional</li> <li>7. Recursos Humanos</li> <li>8. Governança Corporativa</li> <li>9. Tecnologia</li> </ol>	Questionário Geral
ACATECH Schuh et al. (2017)	6 estágios: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Informatização</li> <li>2. Conectividade</li> <li>3. Visibilidade</li> <li>4. Transparência</li> <li>5. Capacidade Preditiva</li> <li>6. Adaptabilidade</li> </ol>	Quatro dimensões, subdivididas em 27 capacidades Indústria 4.0: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recursos</li> <li>2. Sistemas de Informação</li> <li>3. Estrutura Organizacional</li> <li>4. Cultura</li> </ol>	Dimensões examinadas para cada área Questionário complementado com visitas <i>in loco</i>
IMPULS Lichtblau et al. (2015)	6 estágios: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Outsider</li> <li>2. Iniciante</li> <li>3. Intermédio</li> <li>4. Experiente</li> <li>5. Especialista</li> <li>6. <i>Top Performer</i></li> </ol>	Seis dimensões desenvolvidas em 18 campos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estratégia e Organização</li> <li>2. Fábrica Inteligente</li> <li>3. Operação Inteligente</li> <li>4. Produto Inteligente</li> <li>5. Serviços <i>Data-Driven</i></li> <li>6. Funcionários</li> </ol>	Avaliação online Estágio de transição <i>in loco</i>



### 3.2 O Modelo I40MM (Schumacher)

Tendo um propósito ambivalente, onde por um lado pretenderam servir a comunidade académica fornecendo dados sólidos relativos ao estado da arte I4.0 e por outro que visavam a dotação de ferramentas fidedignas de avaliação que pudessem ser utilizadas no terreno pelas empresas industriais, Schumacher *et al.* (2016) após isolarem os problemas identificados em vários *workshops* empresariais vocacionados para a orientação estratégica, onde as organizações assumiram sérios problemas na captação da ideia geral “Indústria 4.0” assim como dos seus conceitos e aplicações, criaram um modelo de avaliação de maturidade considerando 9 dimensões organizacionais (estratégia, liderança, produtos, clientes, operações, cultura organizacional, recursos humanos, governança corporativa e tecnologia) decompostas em 62 itens de avaliação, medidos através de uma Escala de *Likert* de 1 a 5 (com o valor “1” a representar o nível mais baixo de implementação e o valor “5” o nível mais elevado).

Este modelo surge da incapacidade manifestada pelas empresas para relacionar de forma estratégica os benefícios da Indústria 4.0 com o seu *core-business*, demonstrando também problemas em determinar o seu estado atual de desenvolvimento I4.0. Não existindo uma base correta e realista, as organizações cometem falhas na identificação das áreas onde atuar, assim como no exercício do desenho do roteiro de implementação de ações, programas ou projetos. Para superar estas falhas, foi necessário desenvolver novas metodologias e ferramentas para garantir o alinhamento das estratégias corporativas, assim como das respetivas operações, com as tecnologias emergentes.

Partindo de modelos de maturidade já existentes, Schumacher *et al.* (2016), entendem o conceito de maturidade de uma unidade industrial como o estado de implementação das condições internas e externas que suportam os conceitos básicos relacionados com a Indústria 4.0 em toda a cadeia de valor da empresa. Desenvolvido ao longo de 3 fases e de acordo com o modelo proposto por Becker (2009), procuraram numa primeira fase, dominar totalmente o conceito Indústria 4.0 e aprofundaram o estudo relativo aos modelos de maturidade existentes identificando lacunas na sua implementação através de entrevistas aos especialistas. Na segunda fase, limitaram a extensa revisão de literatura efetuada a 72 artigos, que utilizaram posteriormente para a criação e desenvolvimento do modelo de maturidade próprio, tendo chegado às 9 dimensões corporativas e aos 62 itens de avaliação. Por fim, e na terceira fase, trataram da experimentação do modelo desenvolvido em 2 empresas industriais, de forma a poderem proceder à sua aplicabilidade real e à recolha de *feedback* para futuros melhoramentos.

Tabela 3.2. – Dimensões corporativas (adaptada pelo autor de Schumacher et al., 2016)

<b>Dimensão</b>	<b>Descrição da Dimensão</b>
Estratégia	Avaliação de capacidades como a estratégia geral (existência, desenvolvimento e compatibilidade), estratégia digital (inserida na estratégia global da organização), rastreabilidade e mapeamento I4.0.
Liderança	Considera a vontade da gestão de topo em fazer acontecer a indústria 4.0, a comunicação objetiva e as ações de formação aos funcionários.
Clientes	Aborda a integração a jusante da cadeia de valor (clientes), a sensibilidade à inovação e a informação gerada na transação.
Operações	Os aspetos relacionados com a integração horizontal e vertical dos processos, a descentralização, as ligações interdepartamentais, assim como a digitalização dos processos, são alguns exemplos dos considerados nesta dimensão.
Produtos	Releva a customização e digitalização dos produtos, assim como a sua integração no sistema.
Cultura	A formação I4.0 com incidências nas novas tecnologias, o incentivo à criação de ideias inovadoras, assim como a colaboração interempresa e a colaboração intraempresa.
Recursos Humanos	Açambarca as competências digitais dos colaboradores, a abertura às novas tecnologias e a autonomia dos funcionários.
Governança Corporativa	Diz respeito à regulamentação laboral, à adequação dos novos standards tecnológicos, à proteção da propriedade intelectual, assim como a questões relacionadas com a cibersegurança.
Tecnologia	Esta dimensão suporta as capacidades tecnológicas dos equipamentos de TI.

Schumacher *et al.* (2019) apresentam um *upgrade* ao modelo acima referido, passando de nove dimensões corporativas para oito (existiu uma fusão entre a estratégia e a liderança), e onde são avaliados 65 itens de maturidade (face aos 62 inicialmente apresentados). Para além destas mínimas alterações, a grande novidade passa pela criação de um protocolo de avaliação de maturidade, que considera 10 estágios diferentes e que visa um aumento da precisão e fiabilidade do resultado final.

### 3.3 O modelo “ACATECH – *Industrie 4.0 Maturity Index*”

O modelo desenvolvido pela Academia Alemã de Ciência e Engenharia (ACATECH) está inserido no âmbito do programa “*Industrie 4.0*”, lançado pelo governo alemão, pretendendo desenvolver uma série de recomendações que possam servir de base de lançamento às empresas industriais alemãs para uma mais eficiente e correta implementação do conceito I4.0 (*Plattform Industrie 4.0*, 2019)

Schuh *et al.* (2017) apresentaram um método que considera 4 dimensões principais (recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura) avaliando 27 capacidades da empresa e definindo 6 níveis de maturidade ou estágios de desenvolvimento I4.0, escalonados de 1 (informatização) a 6 (adaptabilidade).

Tabela 3.3. – Dimensões estruturais (adaptada pelo autor de Schuh *et al.*, 2017)

Dimensão	Descrição da Dimensão
Recursos	Considera os recursos físicos da organização. Pessoas, equipamentos, matérias-primas e produtos finais devem ter capacidade de leitura dos dados existentes e das técnicas produtivas.
Sistemas de Informação	Sustentam a possibilidade que as empresas têm de tomarem decisões baseadas em dados obtidos em tempo real. Requerem flexibilidade, segurança, interfaces comuns, e qualidade nos dados recolhidos.
Estrutura Organizacional	Trata-se da organização interna da empresa, onde são criadas regras de colaboração interna e externa (abrangendo toda a cadeia de valor). É recomendada pelo autor a organização orgânica, onde se valoriza a autonomia do recurso, limitando as restrições do mesmo.
Cultura	Engloba a vontade para alteração de <i>mindset</i> e a postura colaborativa. A cultura corporativa deve assegurar um grau de confiança num plano estratégico partilhado e compreendido entre todos, de maneira a assegurar uma maior probabilidade de sucesso na implementação de novas tecnologias digitais.

Este modelo, que recebeu o nome “Guia de maturidade da Indústria 4.0” é considerado mais do que um modelo de avaliação de maturidade em si, pois também se apresenta como um guia através do qual as empresas conseguem perceber e compreender qual o caminho a percorrer no momento do desenvolvimento para a Indústria 4.0. Este modelo acaba por se materializar

na sucessão de estágios que visam a totalidade do ciclo de vida do projeto de adoção de tecnologia I4.0, que começa na aquisição dos requisitos básicos para a Indústria 4.0, até à total implementação do conceito, apostando assim na transformação da empresa numa organização ágil (Schuh *et al.*, 2017).

De notar, que a sucessão de estágios não começa no conceito Indústria 4.0, mas sim na digitalização, uma vez que nos dias de hoje a maioria das empresas ainda se debate para criar as condições primárias para a Indústria 4.0, sendo por isso necessário assegurar a existência de tecnologias de informação dentro da empresa, ainda que usadas de forma isolada (informatização) e onde, num estágio seguinte, é fundamental que se proceda à substituição da rede isolada de informação por componentes interligados entre si (conectividade). Somente com esta base pode a empresa entrar no domínio da Indústria 4.0, com uma evolução ao longo de 4 estágios (visibilidade, transparência, capacidade preditiva e adaptabilidade).

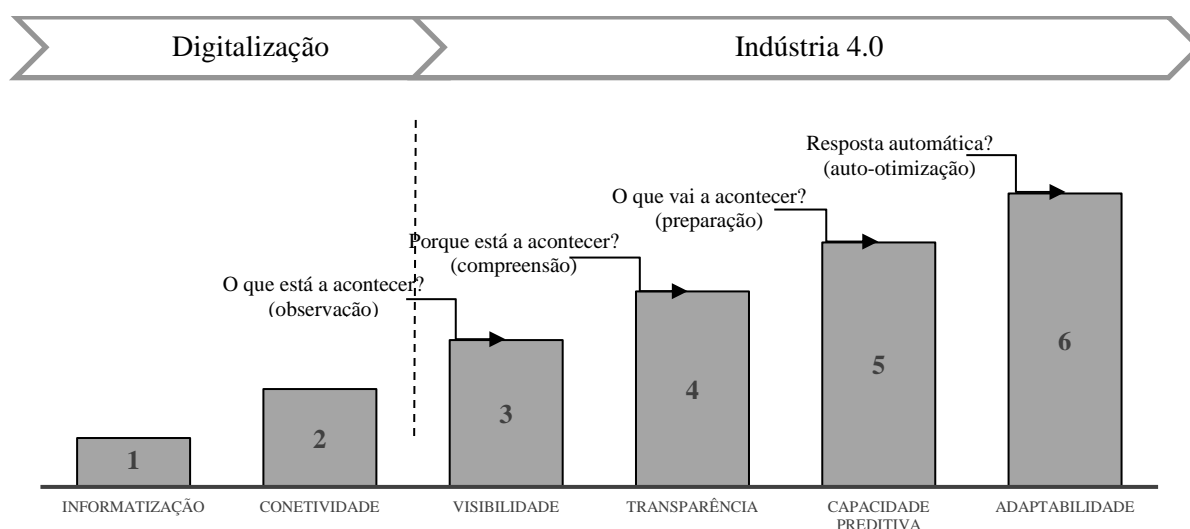


Figura 3.1. – Estágios de desenvolvimento da maturidade Indústria 4.0 (adaptado pelo autor de *Industrie 4.0 Maturity Index*, 2017)

Dividido em 3 fases, este guia inicia a sua aplicação com a aferição do nível de maturidade I4.0 da organização (incidindo em 5 departamentos: inovação e desenvolvimento, produção, logística, serviços e *marketing*/vendas), identificando na fase 2 as capacidades a necessitar de desenvolvimento, para terminar com a apresentação de medidas concretas a aplicar (Schuh *et al.*, 2017).

### 3.4 O Modelo “IMPULS”

Devido à incerteza sobre os riscos e as oportunidades do tema, assim como à enorme necessidade de informação detalhada relativamente à implementação da Indústria 4.0 que inquietava os seus associados, a Fundação IMPULS da Associação Germânica de Engenharia (VDMA), comissionou um estudo conduzido pela *IW Consult* (subsidiária do *Cologne Institute for Economic Research*) e pelo *FIR (Institute for Industrial Management)*, tendo ainda sido apoiadas por empresas industriais na Alemanha.

O estudo aferiu o nível de preparação nas organizações participantes, procurando responder a duas perguntas: a primeira procurava aferir o nível em que a Indústria alemã está no caminho para a implementação da Indústria 4.0; e a segunda questão remetia para as condições a criar de forma a assegurar uma bem-sucedida implementação I4.0, e quais as circunstâncias que deveriam mudar.

Assim, foi desenvolvida uma ferramenta online, na qual, as empresas podem proceder à sua autoavaliação relativamente ao seu estado de preparação e compará-lo com outras que são consideradas líderes na implementação I4.0.

O modelo de avaliação de maturidade IMPULS é composto por seis dimensões, consideradas como o fundamento do modelo de avaliação, as quais foram desenvolvidas em 18 campos. De acordo com a VDMA, a sua visão relativamente à indústria 4.0 passa por 4 objetivos: integração horizontal, integração vertical, produtos inteligentes e pessoas. Estes objetivos estão englobados nas 4 capacidades que definem o conceito “Indústria 4.0”, sendo elas: as fábricas inteligentes, os produtos inteligentes, as operações inteligentes e os serviços baseados em dados (as primeiras duas representam o mundo físico, e as duas últimas o mundo virtual – o que leva à definição de Indústria 4.0 como sendo a fusão entre o mundo físico e o virtual). Estas quatro capacidades são utilizadas como dimensões a avaliar no modelo proposto, às quais se juntam mais duas dimensões identificadas no processo de desenho do modelo de maturidade: funcionários e estratégia e organização (Lichtblau *et al.*, 2015).

Os autores definiram 6 níveis de implementação, que vão do nível 0 ao nível 5 (*Outsider, Beginner, Intermediate, Experienced, Expert e Top Performer*), que depois servem para categorizar a organização avaliada por grupos (*Newcomers, Learners e Leaders*). Algo que diferencia este modelo dos restantes apresentados, passa pela forma como é calculada a métrica de cada dimensão. No caso do modelo IMPULS, o nível de maturidade da dimensão é dado pelo valor mais baixo dos campos que a constituem, uma vez que consideram ser necessário o preenchimento completo dos

requisitos de cada dimensão, devendo para tal existir uma sintonia e compatibilização do desenvolvimento nos campos que compõem a dimensão.

Tabela 3.4. – Dimensões I4.0 (adaptada pelo autor de Lichtblau et al., 2015)

<b>Dimensão</b>	<b>Descrição da Dimensão</b>
Estratégia e Organização	A estratégia e a cultura organizacional são fundamentais para a implementação. São examinados a atual abertura da empresa para o tema e a interação cultural com a Indústria 4.0, considerando a título de exemplo o investimento realizado, o uso de tecnologia ou a gestão da inovação.
Fábrica Inteligente	Baseada nos sistemas ciberfísicos (CPS), o progresso nesta dimensão é medido através da análise de modelos digitais, da infraestrutura de TI e do uso de dados.
Operação Inteligente	Com a utilização de novas abordagens no planeamento de produção e na gestão da cadeia de abastecimento, a mudar o paradigma operacional da indústria, considera-se a troca de informação, o uso da <i>cloud</i> , a cibersegurança e os processos autónomos, como fundamentais para a implementação I4.0.
Produto Inteligente	Estuda o nível de utilização de componentes de informação e comunicação (sensores, <i>RFID</i> , interfaces de comunicação, entre outros), usados nos produtos físicos de forma a recolher dados, permitindo a monitorização e otimização de todos os processos onde o produto está envolvido.
Serviços baseados em dados	Estes serviços têm como objetivo a criação de futuros modelos de negócio e de melhorar a perceção do valor para o cliente e baseiam-se na informação partilhada dos dados obtidos pelos produtos inteligentes.
Funcionários	A qualificação dos funcionários é imprescindível para uma correta implementação, sendo cada vez mais necessário às organizações assegurarem condições de formação contínua, de forma as dotar os seus colaboradores de competências digitais.

Este modelo é complementado ainda por um plano composto por várias ações a implementar, mediante o grupo ao qual a empresa pertence (*Newcomers*, *Learners* e *Leaders*), podendo servir de guia para uma melhoria da performance I4.0.

## Capítulo IV – Abordagem teórica

Nos dois capítulos anteriores foi apresentada através da revisão de literatura uma explicação mais detalhada do conceito “Indústria 4.0”, onde se explanaram os seus fundamentos tecnológicos, os impactos esperados nas organizações e alguns modelos de maturidade que visam uma correta avaliação do estágio de desenvolvimento digital da Indústria. Para além do referido, foram também resumidos vários estudos relativos ao estado da transição digital nas empresas industriais portuguesas, cujas conclusões a presente dissertação pretende reforçar. Assim, foram elaboradas algumas questões de pesquisa, de forma a traçar um cenário do estado da Indústria em Portugal no que à implementação da tecnologia digital, diz respeito.

Em setembro de 2016, Correia *et al.* publicaram o primeiro estudo relativo ao processo de transformação digital da Indústria em Portugal, onde se apresentavam metas ambiciosas nos números relativos à implementação do conceito “Indústria 4.0” para os 5 anos seguintes. Já em 2018, a parceria NovaSBE – EY concluiu que apesar de uma consciência manifestada por parte das empresas portuguesas relativamente à transformação digital, o caminho para essa mudança, era ainda pouco claro, manifestado pelo *score* obtido pelas empresas portuguesas que as posicionava num nível de baixa maturidade digital (Gouveia *et al.*, 2019).

Considerando o caso alemão, onde Glass *et al* (2018) e Kiel *et al* (2018) apresentam a ausência de uma estratégia de implementação digital como uma das causas para uma mais difícil integração do conceito nas várias indústrias, procurou-se na presente dissertação, perceber se em Portugal, a estratégia digital está incluída na estratégia empresarial, demonstrando preocupação com o tema da inovação e desenvolvimento e um real comprometimento ao nível dos conselhos de administração, sendo estes, os motes para a primeira questão de pesquisa: QP1) **De que forma está o conceito I4.0 a ser interiorizado pela Indústria Portuguesa, considerando a existência de uma estratégia clara e integrada, ou, se pelo contrário, serão as medidas implementadas avulsas e pouco objetivas?**

Passando do nível estratégico para o nível tático, torna-se necessário operacionalizar a intenção de digitalizar a empresa. Sabendo que de diferentes estágios de desenvolvimento advêm necessidades diferenciadas, é intenção desta dissertação, perceber se em Portugal, os pilares apresentados por Rüßmann *et al.* (2015) são usados de forma pensada, sustentada e justificada, ou se pelo contrário, a tecnologia utilizada é escolhida por via das tendências ou por outros interesses.

Outros autores relatam a importância da criação de ecossistemas específicos que integram a tecnologia, os humanos e a organização (Albers *et al.*, 2016; Oks *et al.*, 2017), de forma a serem bem-sucedidos na implementação do conceito I4.0.

Da identificação dos pilares I4.0 e da forma como os mesmos são implementadas, nasce a segunda questão de pesquisa: **QP2) Quais os pilares mais utilizados para a obtenção deste propósito e de que modo são implementados pelas unidades?**

Com impactos sentidos ao nível humano, tecnológico e financeiro (Glass *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2018), foram reportados, em estudos na Alemanha (Kiel *et al.*, 2018) e na Suécia (Machado *et al.*, 2019) desafios que passam pela readequação dos recursos humanos, pela mudança da cultura corporativa, pela adequação dos layouts fabris e das condições de trabalho, por alterações na própria estrutura organizativa, pela integração técnica das soluções propostas, por questões relacionadas com segurança (dos elementos humanos e dos elementos digitais) e pela viabilidade financeira do investimento necessário. Qual o sentimento dos gestores portugueses, é também uma das respostas que se procura obter no trabalho aqui apresentado, desta feita à terceira questão de pesquisa: **QP3) Quais os principais desafios sentidos na implementação do conceito I4.0 e serão eles de índole humana, tecnológica ou financeira?**

Os vários desafios percecionados advêm dos obstáculos sentidos nos vários departamentos das empresas e com implicações ao nível dos processos, recursos humanos e equipamentos, entre outros (Erol *et al.*, 2016). Por outro lado, Oesterreich & Teuteberg (2016) apresentam como algumas das vantagens no processo de implementação I4.0, o incremento da qualidade do produto final, uma otimização de recursos e ainda uma melhor capacidade de gestão.

Segundo Lucato *et al.* (2019) o objetivo da Indústria 4.0 passa pela obtenção do mais alto nível de eficiência operacional possível e pelo aumento da produtividade, objetivo esse que pode ser atestado no estudo de Correia *et al.* (2016), no qual são elencados os impactos sentidos no momento da transformação digital nas empresas portuguesas. É objetivo da dissertação perceber quais as áreas que mais sofrerão o impacto desta mudança. Será a área comercial ou a produção? Serão os serviços administrativos ou o departamento de Marketing? Sendo certo que a mudança resultará num benefício para toda a organização, é também certo que não afetará todos por igual. Foram estas as perguntas que sustentam a quarta questão de pesquisa deste estudo: **QP4) Em que áreas da empresa serão sentidos os efeitos da implementação das atividades I4.0 e como serão as mesmas afetadas?**

O caminho para a transformação digital inicia-se com a avaliação do nível de maturidade digital das empresas (Machado *et al.*, 2019). Como proceder a essa avaliação, é a questão que se coloca. Para tal, foram criadas no país berço da 4ª revolução industrial, ferramentas que



procuram quantificar o estágio em que a indústria se encontra, auxiliando na criação de uma visão corporativa direcionada para o melhoramento dos processos, servindo simultaneamente de guia nesse desenvolvimento e estabelecendo métricas de comparação entre as várias unidades e diferentes sectores (Sucky *et al.*, 2019) – os modelos de maturidade – e que têm revelado a sua utilidade na identificação e clarificação das áreas a atuar. Colli *et al.* (2015) compilaram vários modelos de maturidade, procurando dotar as empresas (sobretudo as PME, com menor capacidade de investimento em I&D) de ferramentas que lhes permitissem aferir o seu “estado da arte”. Procurando entender a aplicabilidade dos modelos de maturidade em Portugal, originou-se a quinta questão de pesquisa: **QP5) Serão os modelos de maturidade as ferramentas indicadas para um correto *assessment*?**

De acordo com o estudo apresentado por Sucky *et al.* (2019), os modelos de maturidade dividem-se em dois grandes grupos: os “científicos” desenvolvidos na academia e os “corporativos” utilizados pelas grandes consultoras que pretendem atuar como intermediários e fornecedores de soluções no processo de implementação. Da compilação efetuada por Colli *et al.* (2018) destacam-se o “I4.0MM” de Schumacher *et al.* (2016) nascido no meio académico, o “ACATECH” (Schuh *et al.*, 2017) desenvolvido pelo governo alemão através da Academia Alemã de Ciência e Engenharia e por último o modelo “IMPULS” de Lichtblau *et al.* (2015) com origem na *IW Consult* em parceria com outras entidades, como já referido anteriormente.

A sexta e última questão de pesquisa desta dissertação, visa identificar que tipo de modelo de maturidade é o mais indicado para aplicação em Portugal, levando assim à seguinte pergunta: **QP6) Entre os modelos de maturidade existentes, quais aqueles que as organizações devem considerar para levar a cabo o propósito de aferição do estágio de digitalização das mesmas: utilizarão a abordagem sugerida pelas grandes consultoras ou deverão seguir uma linha sustentada pela Academia?**



## Capítulo V – Metodologia

### 5.1 Modelo de investigação

Procurando dar resposta aos objetivos propostos, esta dissertação foi desenvolvida em quatro etapas. Na primeira trabalhou-se a revisão de literatura, onde se apresentaram as revoluções industriais de uma forma mais sucinta e generalista, para de seguida desenvolver mais profundamente a quarta revolução industrial com a descrição dos seus pilares e os impactos expectáveis, abordando logo de seguida o conceito numa perspetiva nacional partilhando alguns estudos sobre o “estado da nação” digital, terminando esta fase com ferramentas de *assessment*, nomeadamente com a descrição de 3 modelos de maturidade. A segunda etapa, consistiu na transformação da teorização base da dissertação para o campo da observação, procurando garantir resultados com o maior nível de confiança possível, através da construção de um guião de entrevistas que abrangesse o espectro da investigação. A operacionalização do guião através da condução das entrevistas efetuadas correspondeu à terceira etapa deste trabalho, sendo que a quarta fase consistiu na análise qualitativa dos dados obtidos nas entrevistas.

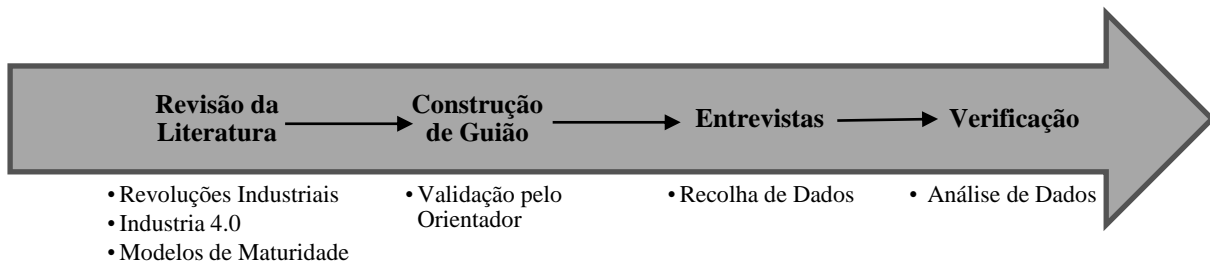


Figura 5.1. – Modelo de Investigação (elaborado pelo autor)

As questões de pesquisa que sustentam esta dissertação, foram respondidas através da utilização de uma metodologia qualitativa, onde se procedeu a uma análise de conteúdo de 18 entrevistas que visavam caracterizar a implementação do conceito “Indústria 4.0” nas empresas industriais portuguesas. Considerando os objetivos da tese, a entrevista foi considerada a ferramenta mais apropriada, pese embora a existência de um certo grau de subjetividade nas respostas dadas, sendo esse facto colmatado com a possibilidade de *inputs* adicionais sobre o tema dados pelos entrevistados. O número de entrevistas efetuadas (18) é garante de um bom grau de confiança.

Sendo a análise qualitativa baseada no guião de entrevista, apresenta-se na figura abaixo a categorização e codificação do mesmo.

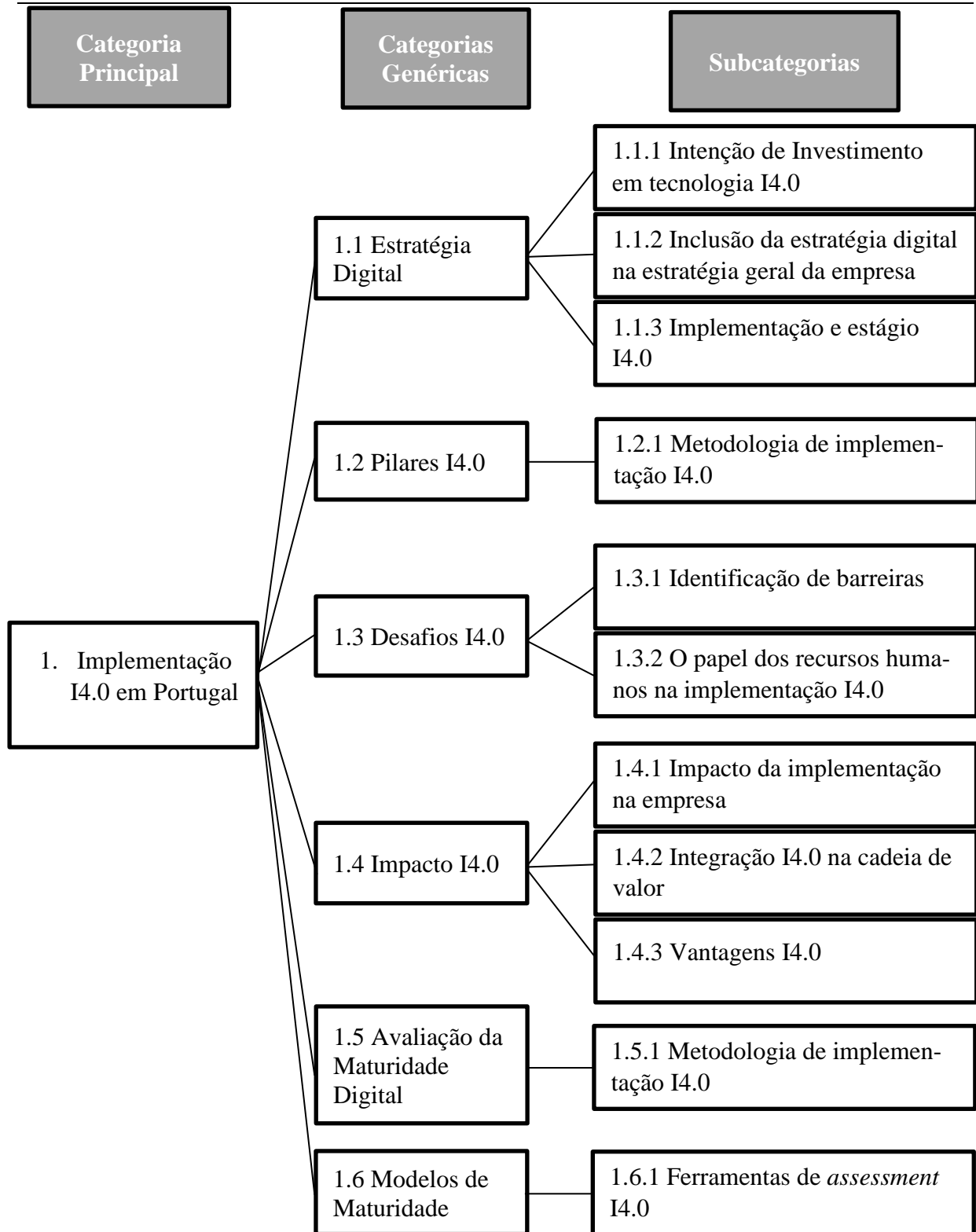


Figura 5.2. – Categorização e codificação do guião de entrevista (elaborado pelo autor)

Considerando a intenção de responder ao propósito teórico relacionado com a quantificação do grau de introdução da Indústria 4.0 nas organizações industriais em Portugal, ao qual se junta a ambição de clarificação do “estado da nação”, procurando entender de que forma estão as empresas a integrar a transição digital na sua estratégia global, quais as principais barreiras

sentidas, quais as vantagens que daí advêm e de que forma podem as indústrias proceder a uma correta avaliação do seu patamar, relacionaram-se os objetivos propostos com as questões colocadas nas entrevistas, conforme se pode verificar na tabela seguinte.

Tabela 5.1. – Relação entre os objetivos e as questões de entrevista (elaborada pelo autor)

OBJECTIVO	QUESTÃO DE ENTREVISTA
<p><b>OBJ1:</b> Percecionar se a estratégia de digitalização da empresa alicerçada nos pilares da Indústria 4.0, está considerada na estratégia global da organização.</p>	<p><b>QE1:</b> Já foram efetuados investimentos ou existe a intenção de investir em tecnologia no âmbito da indústria 4.0? Qual a percentagem do orçamento anual que está apenas a este propósito?</p> <p><b>QE2:</b> Está a estratégia digital implementada de forma integrada com a estratégia geral da empresa? Como se consegue garantir a integração vertical do conceito em toda a organização?</p> <p><b>QE3:</b> Como foi desenhado o estudo para a implementação de um plano Indústria 4.0 na sua organização? Recorreram a meios próprios ou recorreram a consultoria externa?</p> <p><b>QE10:</b> Para finalizar, qual considera ser o estado de implementação da Indústria 4.0 na sua empresa, e qual prevê que seja esse mesmo estado dentro de 3 anos? Considere uma escala de 1 a 5, onde 1 indica “nada implementada” e 5 “totalmente implementada”.</p>
<p><b>OBJ2:</b> Identificar as principais barreiras para uma válida adoção da tecnologia pretendida.</p>	<p><b>QE4:</b> Na sua opinião e baseado na experiência vivida, quais os principais desafios/dificuldades que se colocam no adoção de tecnologias I4.0 e como se ultrapassam?</p> <p><b>QE5:</b> Considera existirem na sua empresa as competências humanas necessárias para fazer face aos desafios da I4.0? Foi necessário algum plano de <i>reskilling</i> dos quadros existentes?</p>
<p><b>OBJ3:</b> Entender qual o impacto expectável pelas empresas no momento da implementação das ações relacionadas com a Indústria 4.0.</p>	<p><b>QE6:</b> Qual a metodologia utilizada para calcular o impacto de uma implementação da I4.0?</p> <p><b>QE7:</b> Na sua cadeia de valor, existem unidades com tecnologia I4.0 e como estão elas integradas no processo?</p> <p><b>QE8:</b> De que forma a implementação de tecnologia I4.0 impactou o negócio, ou seja, quais as principais vantagens que identifica na Indústria 4.0?</p>
<p><b>OBJ4:</b> Perceber de que modo podem as empresas industriais portuguesas proceder a uma correta análise do seu “estado da arte”.</p>	<p><b>QE3:</b> Como foi desenhado o estudo para a implementação de um plano Indústria 4.0 na sua organização? Recorreram a meios próprios ou recorreram a consultoria externa?</p> <p><b>QE9:</b> Como se propôs a empresa a encontrar a(s) ferramenta(s) I4.0 adequadas à obtenção dos resultados pretendidos?</p>

De referir a existência de uma pergunta (a décima da entrevista), que procurou quantificar, ainda que de forma subjetiva, o nível de maturidade digital em que a empresa se encontra e qual o nível expectável dentro de 3 anos.

A Tabela 5.2 abaixo, permite analisar a relação existente entre os objetivos da dissertação e as questões de pesquisa, assim como a ligação com a revisão de literatura presente nos capítulos iniciais.

Tabela 5.2. – Relação entre os objetivos, as questões de pesquisa e a revisão de literatura (elaborada pelo autor)

OBJECTIVOS	QUESTÕES DE PESQUISA	REVISÃO DE LITERATURA
<b>OBJ1:</b> Percecionar se a estratégia de digitalização da empresa alicerçada nos pilares da Indústria 4.0, está considerada na estratégia global da organização.	<b>QP1:</b> De que forma está o conceito I4.0 a ser interiorizado pela Indústria Portuguesa considerando a existência de uma estratégia clara e integrada, ou, se pelo contrário, serão as medidas implementadas avulsas e pouco objetivas?	Correia <i>et al.</i> , 2016 NovaSBE, 2018 Glass <i>et al.</i> , 2018 Gouveia <i>et al.</i> , 2019 Kiel <i>et al.</i> , 2019
	<b>QP2:</b> Quais os pilares mais utilizados para a obtenção deste propósito e de que modos são implementados pelas unidades?	Rüßmann <i>et al.</i> , 2015 Albers <i>et al.</i> , 2016 Oks <i>et al.</i> , 2017
<b>OBJ2:</b> Identificar as principais barreiras para uma válida adoção da tecnologia pretendida.	<b>QP3:</b> Quais os principais desafios sentidos na implementação do conceito I4.0 e serão eles de índole humana, tecnológica ou financeira?	Lima <i>et al.</i> , 2018 Glass <i>et al.</i> , 2018 Machado <i>et al.</i> , 2019 Kiel <i>et al.</i> , 2019
<b>OBJ3:</b> Entender qual o impacto expectável pelas empresas no momento da implementação das ações relacionadas com a Indústria 4.0.	<b>QP4:</b> Em que aspetos da empresa serão sentidos os efeitos da implementação das atividades I4.0 e como serão os mesmos afetados?	Correia <i>et al.</i> , 2016 Oesterreich <i>et al.</i> , 2016 Erol <i>et al.</i> , 2016 Lucato <i>et al.</i> , 2019
<b>OBJ4:</b> Perceber de que modo podem as empresas industriais portuguesas proceder a uma correta análise do seu “estado da arte”	<b>QP5:</b> Serão os modelos de maturidade as ferramentas indicadas para um <i>correct assessment</i> ?	Colli <i>et al.</i> , 2018 Sucky <i>et al.</i> , 2019 Machado <i>et al.</i> , 2019
	<b>QP6:</b> Entre os modelos de maturidade existentes, quais aqueles que as organizações devem considerar para levar a cabo o propósito de aferição do estágio de digitalização das mesmas: utilizarão a abordagem sugerida pelas grandes consultoras ou deverão seguir uma linha sustentada pela Academia?	Lichtblau <i>et al.</i> , 2015 Schumacher <i>et al.</i> , 2016 Schuh <i>et al.</i> , 2017 Colli <i>et al.</i> , 2018 Sucky <i>et al.</i> , 2019

## 5.2 Caracterização da amostra

Uma vez que o propósito principal desta investigação reside na caracterização das empresas industriais portuguesas quanto à implementação do conceito Indústria 4.0, procurou-se que a amostra abrangesse diferentes dimensões de empresas, vários sectores de atividade, estados de maturidade operacional de espectro mais largo e localizações geográficas distintas. Ao nível dos intervenientes diretos (os entrevistados), pretendeu-se obter respostas por parte daqueles que desempenhassem funções de gestão nos departamentos com maiores índices de interação com a tecnologia I4.0.

Das 18 entrevistas efetuadas, 10 (56%) são categorizadas quanto à dimensão como PME e restantes 8 (44%) como Grandes Empresas. De notar ainda, que das 10 PMEs participantes, 5 são Pequenas Empresas e 5 são consideradas Médias Empresas.

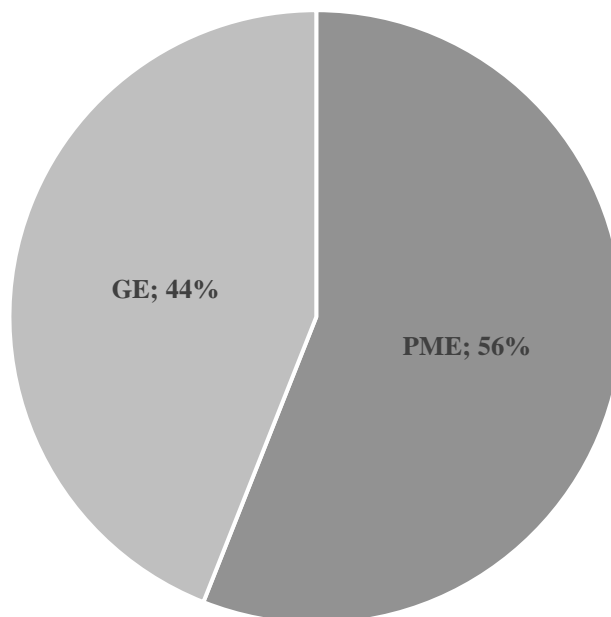


Figura 5.3. – Categorização das Empresas quanto à dimensão (elaborado pelo autor)

Quanto aos setores de atividade representados, obteve-se a participação de empresas de 12 sectores distintos, relevando a participação de 3 organizações da Metalomecânica (16.67%), 2 ligadas ao sector energético (11.11%), igual número de indústrias da área automóvel e outras 2 ligadas à produção de mobiliário. Foram também obtidas participações de sectores como a

indústria química, agroquímica e alimentar entre outros. Na tabela 5.3, são apresentados todos os sectores participantes.

Tabela 5.3. – Sectores representados na investigação (elaborado pelo autor)

SECTOR	REPRESENTAÇÕES [NÚMERO; %]	
<i>METALOMECÂNICA</i>	3	16,67%
<i>MOBILIÁRIO</i>	2	11,11%
<i>EQUIP. PROTEÇÃO</i>	2	11,11%
<i>ENERGIA</i>	2	11,11%
<i>AUTOMOVEL</i>	2	11,11%
<i>QUIMICA</i>	1	5,56%
<i>MADEIRA</i>	1	5,56%
<i>EQUIP.ELEVAÇÃO</i>	1	5,56%
<i>EMBALAGENS</i>	1	5,56%
<i>CERÂMICA</i>	1	5,56%
<i>ALIMENTAR</i>	1	5,56%
<i>AGROQUIMICA</i>	1	5,56%

Relativamente à localização das empresas, a grande maioria (50%) está localizada na região centro do país, mais concretamente nos distritos de Viseu e Coimbra, existindo ainda respostas de outras zonas de Portugal, tais como: Lisboa, Porto, Setúbal, Bragança e até da Região Autónoma dos Açores.

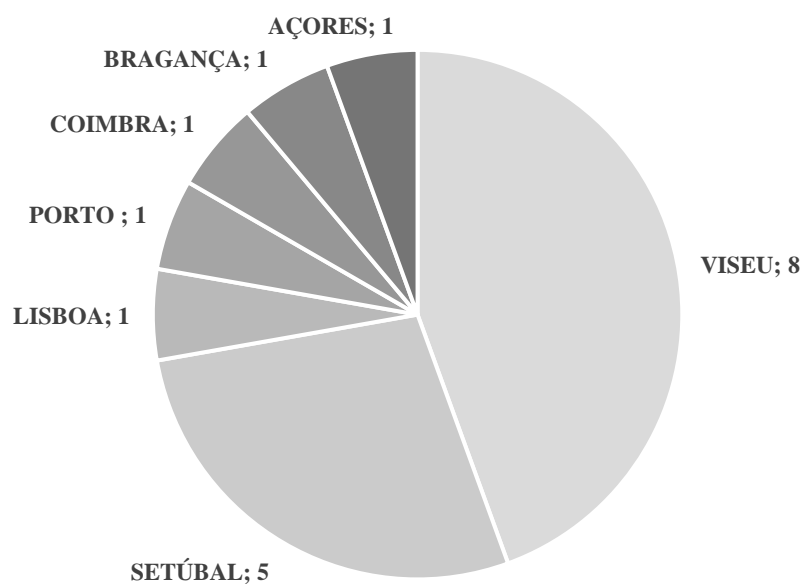


Figura 5.4. – Dispersão geográfica das empresas inquiridas (elaborado pelo autor)



Considerando a data de fundação de cada uma das empresas, temos a destacar a mais recente com pouco mais que 1 ano de atividade, sendo que a indústria com maior longevidade presente nesta investigação tem já 74 anos de laboração em Portugal.

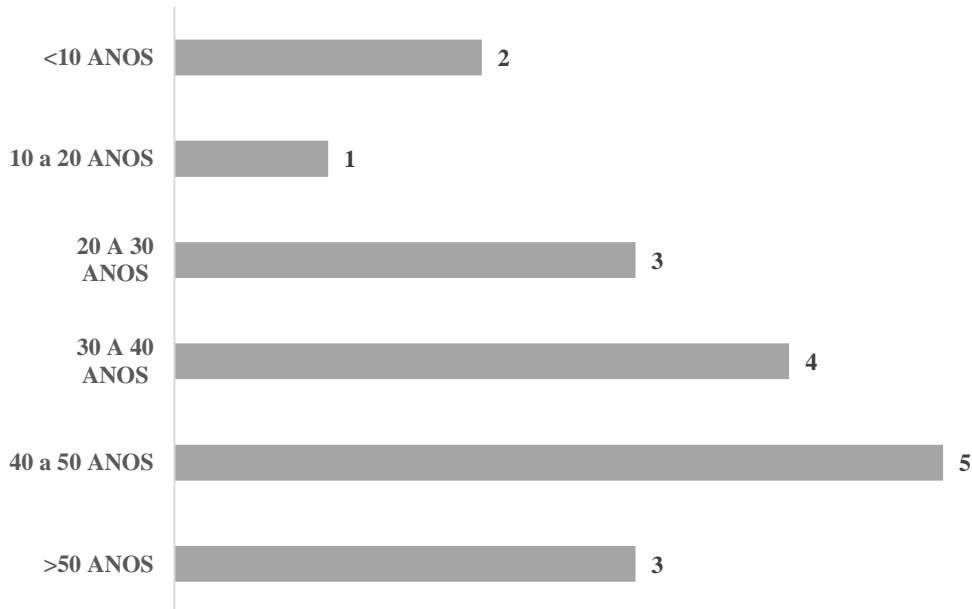


Figura 5.5. – Distribuição das empresas participantes quanto aos anos de atividade (elaborado pelo autor)

No que aos cargos dos entrevistados diz respeito, 15 desempenham cargos de Direção nas respetivas empresas (o que corresponde a 83.33% dos inquiridos), 2 (11.11%) têm assento nos Conselhos de Administração e 1 dos participantes (5.56%) tem a seu cargo a Coordenação de 2 equipas. Considerou-se também interessante caracterizar a amostra quanto ao âmbito dos cargos de Direção, de forma a aferir a participação dos vários departamentos no processo de implementação. Essa distribuição pode ser verificada na tabela 5.4.

Tabela 5.4. – Distribuição dos inquiridos da categoria “Direção” quanto ao seu departamento (elaborado pelo autor)

DEPARTAMENTO	REPRESENTAÇÕES [NÚMERO; %]	
PRODUÇÃO	9	60,00%
MANUTENÇÃO	3	20,00%
IT	2	13,33%
QUALIDADE	1	5,56%



## Capítulo VI – Apresentação e discussão de resultados

### 6.1. Estratégia de digitalização nas empresas portuguesas

De modo a dar resposta às duas primeiras questões de pesquisa e procurando atingir o primeiro objetivo desta tese, o qual passava, como anteriormente exposto, por perceber se a estratégia de digitalização das empresas, suportada na tecnologia I4.0, estava alinhada com a estratégia global das mesmas, apresentaram-se aos entrevistados 4 questões que visavam a obtenção do enquadramento, conforme tabela abaixo que relaciona o objetivo com as questões de pesquisa e de entrevista.

Tabela 6.1. – Relação Objetivo 1 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista (elaborado pelo autor)

Objetivo	Questões de Pesquisa	Questões de Entrevista
<b>OBJ1:</b> Percecionar se a estratégia de digitalização da empresa alicerçada nos pilares da Indústria 4.0, está considerada na estratégia global da organização.	<p><b>QP1:</b> De que forma está o conceito I4.0 a ser interiorizado pela indústria portuguesa, considerando a existência de uma estratégia clara e integrada, ou, se pelo contrário, serão as medidas implementadas avulsas e pouco objetivas?</p> <p><b>QP2:</b> Quais os pilares mais utilizados para a obtenção deste propósito e de que modos são implementados pelas unidades?</p>	<p><b>QE1:</b> Já foram efetuados investimentos ou existe a intenção de investir em tecnologia no âmbito da indústria 4.0? Qual a percentagem do orçamento anual que está pensa a este propósito?</p> <p><b>QE2:</b> Está a estratégia digital implementada de forma integrada com a estratégia geral da empresa? Como se consegue garantir a integração vertical do conceito em toda a organização?</p> <p><b>QE3:</b> Como foi desenhado o estudo para a implementação de um plano Indústria 4.0 na sua organização? Recorreram a meios próprios ou recorreram a consultoria externa?</p> <p><b>QE10:</b> Qual considera ser o estado de implementação da Indústria 4.0 na sua empresa, e qual prevê que seja esse mesmo estado dentro de 3 anos? Considere uma escala de 1 a 5, onde 1 indica “nada implementada” e 5 “totalmente implementada”.</p>

A primeira questão de pesquisa procura perceber como está a implementação do conceito I4.0 a ser desenvolvida dentro das organizações portuguesas. Estará a ser assumida como um compromisso estratégico, ou as ações decorrem somente a um nível operacional?

Procurou-se, em primeiro lugar, saber da existência ou da intenção de investimentos nesta área, inquirindo-se de seguida relativamente à integração da estratégia digital na estratégia geral da empresa. Das respostas obtidas, conseguimos perceber que aos dias de hoje, o conceito I4.0 é já efetivo na indústria portuguesa, com 72.22% dos representantes das empresas a atestar investimentos efetivamente feitos nessa área, sendo que esse número sobe para os 88.89% na intenção de investir num futuro próximo.

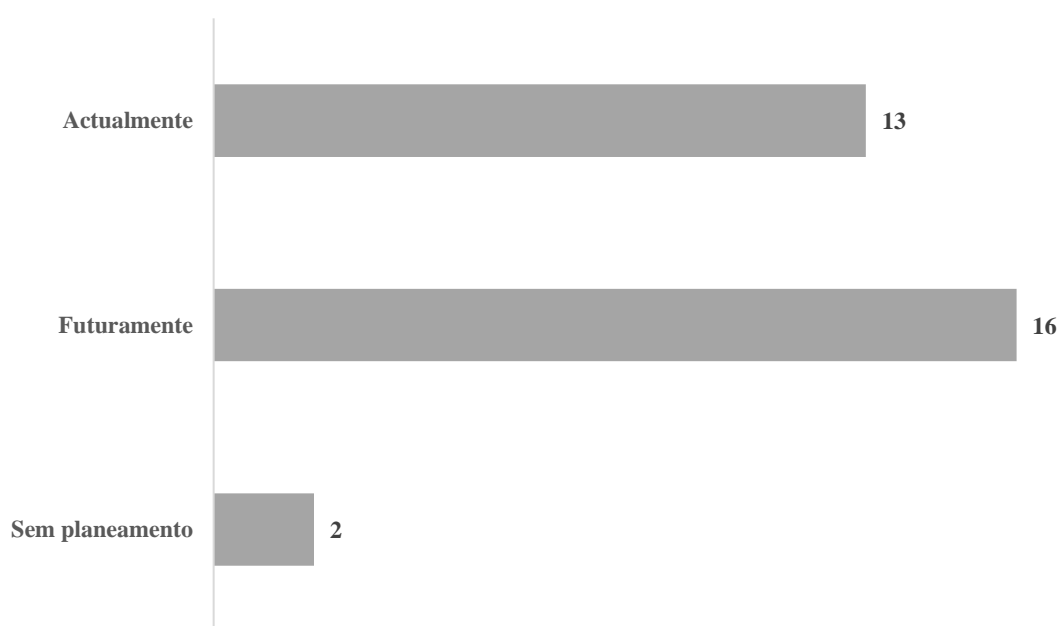


Figura 6.1. – Intenção de investimento em tecnologia I4.0 (elaborado pelo autor)

No que ao alinhamento da estratégia digital com a estratégia geral e respetiva integração em toda a empresa diz respeito, o equilíbrio não podia ser maior, com 50% das entrevistadas a responder que o mesmo era já uma realidade e as restantes 50% com respostas em sentido contrário. Relativamente à forma como essa integração é conseguida, praticamente todos os inquiridos do primeiro grupo revelam um envolvimento direto da administração da empresa, aliado à participação de todos os departamentos envolvidos no processo, sendo sobretudo referidas as áreas da Produção, Qualidade, Manutenção e IT, como aquelas com maior incidência na condução e implementação de projetos I4.0, fatores que segundo Glass *et al.* (2018) e Kiel

*et al.* (2019) são os mais referidos no seu estudo. Na tabela 6.2. apresentam-se as respostas genéricas e 2 exemplos de modelos de integração.

Tabela 6.2. – Alinhamento da estratégia e modelos de integração vertical referidos (elaborado pelo autor)

Texto	Categoria Genérica	Sub-categoria	Nº Vezes	Entrevistado
A estratégia digital não está alinhada com a estratégia geral da empresa.	1.1	1.1.2	9	1, 2, 6, 9, 12, 13, 14, 16, 17
A estratégia digital está alinhada com a estratégia geral da empresa.	1.1	1.1.2	9	3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 15, 18
Estratégia com 3 grandes passos (conectividade, engenharia industrial e manutenção).	1.1	1.1.2	1	5
4 fases: 1ª Visão (que problemas existem e que podem ser resolvidos através do 4.0) – agilidade e eficiência); 2ª Conceptualização (encontrar respostas – várias e aferi-las); 3ª MVP (valor mínimo do produto); 4º Scale Up (projeto e implementação em larga escala).	1.1	1.1.2	1	3

Quanto à segunda questão de pesquisa, pretendia-se perceber quais são e de que modo são escolhidas as tecnologias I4.0 para a implementação e se as mesmas seriam as mais adequadas para o propósito a que se propunham.

No presente estudo, das 16 empresas que afirmaram já ter a Indústria 4.0 em processo de implementação, 11 (68.75%) desenharam o plano de implementação recorrendo a meios internos, 2 delas (12.50%) entregaram o processo a parceiros de consultoria e 3 organizações (18.75%) optaram por uma solução mista, integrando os meios internos com outros parceiros (fornecedores e empresas de consultoria).

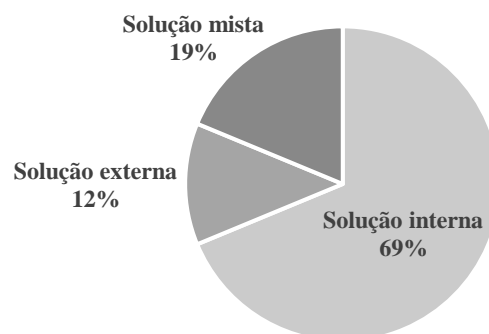


Figura 6.2. – Distribuição de Recursos para a implementação I4.0 (elaborado pelo autor)

De notar que tal, como visto nas respostas à primeira pergunta, o envolvimento da componente humana, tecnológica e organizacional é fundamental para o sucesso da implementação do conceito nas empresas, tal como sugerido por Albers *et al.* (2016) e por Oks *et al.* (2017).

Relativamente às ferramentas que esses meios utilizaram no desenho da implementação, as mesmas podem ser observadas na tabela seguinte.

Tabela 6.3. – Ferramentas utilizadas no estudo para implementação I4.0 (elaborado pelo autor)

<b>Texto</b>	<b>Categoria Genérica</b>	<b>Sub-categoria</b>	<b>Nº Vezes</b>	<b>Entrevistado</b>
Medidas independentes	1.1	1.1.3	7	1, 2, 4, 6, 9, 13, 14
<i>Business cases</i>	1.1	1.1.3	4	3, 5, 7, 17
Planos de Investimento	1.1	1.1.3	3	15, 16, 18
<i>Business plans</i>	1.1	1.1.3	3	10, 11, 12
Outros (EAM)	1.1	1.1.3	1	8

Dos pilares apresentados por Rübmann *et al.* (2015) e ainda no âmbito das tecnologias I4.0, corroborando as conclusões do estudo de Correia *et al.* (2016) e da NovaSBE (2018), foram identificados os seguintes pilares como os mais utilizados: Internet das Coisas, *Big Data* e o *Cloud Computing*. Existem ainda referências a outros pilares (*Robots* Autónomos, Realidade Aumentada e Simulação), conforme a tabela 6.4.

Tabela 6.4. – Pilares I4.0 mencionados (elaborado pelo autor)

<b>Texto</b>	<b>Categoria Genérica</b>	<b>Sub-categoria</b>	<b>Nº Vezes</b>	<b>Entrevistado</b>
<i>Internet of Things</i>	1.1.	1.1.1.	16	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
<i>Big Data</i>	1.1.	1.1.1.	14	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18
<i>Cloud Computing</i>	1.1.	1.1.1.	10	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 16, 17

Texto	Categoria Genérica	Sub-categoria	Nº Vezes	Entrevistado
Robots Autónomos	1.1.	1.1.1.	7	3, 5, 10, 11, 12, 17, 18
Realidade Aumentada	1.1.	1.1.1.	4	3, 5, 8, 16
Simulação	1.1.	1.1.1.	3	3, 5, 10

Face ao apresentado acima e comparando com o estudo referido anteriormente, pode-se constatar um incremento na utilização dos robots autónomos nestes últimos 3 anos, o que levanta questões relacionadas com a área dos recursos humanos, questão essa que será abordada no subcapítulo seguinte.

Na última questão da entrevista que serve de suporte a este objetivo, pediu-se aos gestores que quantificassem a sua perceção atual relativamente ao nível de implementação da Indústria 4.0 nas suas empresas, e que fizessem esse mesmo exercício num horizonte temporal a 3 anos, utilizando uma escala de 1 a 5 (onde 1 significa “nada implementada” e 5 “totalmente implementada”). Conforme observável na figura 6.3 e na tabela 6.5, conclui-se que 66% das organizações consideram estar atualmente nos níveis 1 e 2, sendo que dentro de 3 anos somente 28% prevê manter-se nesses mesmos níveis.

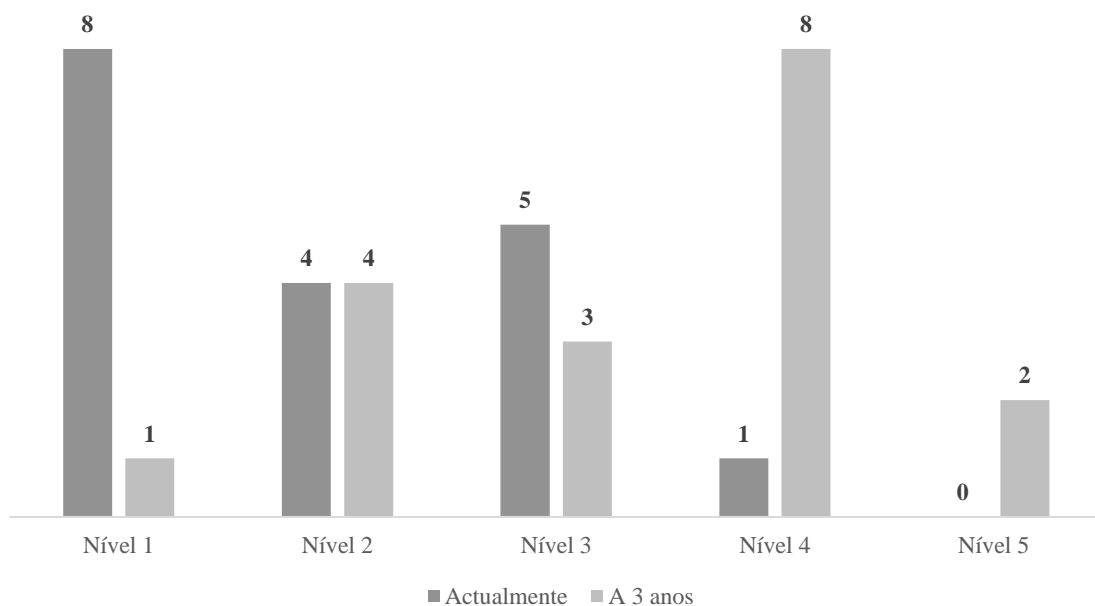


Figura 6.3. – Expectativa de evolução do nível de implementação I4.0 a 3 anos (elaborado pelo autor)

No seguimento do referido acima, apresenta-se de seguida o posicionamento das empresas participantes no estudo quanto ao seu nível de implementação.

Tabela 6.5. – Posicionamento quanto ao nível de implementação das empresas inquiridas (elaborado pelo autor)

	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Nível 4		Nível 5	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
<b>Atualmente</b>	8	44%	4	22%	5	28%	1	6%	0	0%
<b>A 3 anos</b>	1	6%	4	22%	3	17%	8	44%	2	11%

Deste posicionamento, obtemos, através do cálculo via média aritmética, um nível de implementação de 2.00, colocando a indústria portuguesa à entrada de um novo patamar de desenvolvimento. Comparando com o resultado obtido por Gouveia *et al.* (2019) de 1.44, podemos, com as devidas ressalvas, atestar um aumento da implementação da tecnologia I4.0 nas empresas industriais portuguesas.

## 6.2. Barreiras na implementação do conceito I4.0

Quanto ao segundo objetivo desta dissertação, que pretendia identificar quais as barreiras vivenciadas pelas empresas na adoção desta tecnologia, inquiriram-se os entrevistados relativamente aos desafios sentidos na fase de implementação, e de uma forma mais objetiva, se consideravam existir nas suas organizações competências humanas propícias a um correto desenrolar do processo.

Tabela 6.6. – Relação Objetivo 2 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista (elaborado pelo autor)

Objetivo	Questões de Pesquisa	Questões de Entrevista
<b>OBJ2:</b> Identificar as principais barreiras para uma válida adoção da tecnologia pretendida.	<b>QP3:</b> Quais os principais desafios sentidos na implementação do conceito I4.0 e serão eles de índole humana, tecnológica ou financeira?	<b>QE4:</b> Na sua opinião e baseado na experiência vivida, quais os principais desafios/dificuldades que se colocam na adoção de tecnologias I4.0 e como se ultrapassam? <b>QE5:</b> Considera existirem na sua empresa as competências humanas necessárias para fazer face aos desafios da I4.0? Foi necessário algum plano de <i>reskilling</i> dos quadros existentes?



Por forma a agrupar as diferentes respostas às questões da entrevista, seguiu-se a tipificação de barreiras sugerida por Glass *et al.* (2018), estruturando os resultados em 3 áreas que contemplam os fatores tecnológicos, os fatores financeiros e os fatores humanos ou sociais. Os fatores tecnológicos (considerados na subcategoria 1.2.1.) compreendem aspetos relacionados com os equipamentos, com a possibilidade de integração no conceito I4.0 e com as condições existentes para adequação das várias tecnologias I4.0 (nomeadamente, internet das coisas, *big data*, *cloud computing* e cibersegurança). Na subcategoria 1.2.2., temos os fatores financeiros que dizem respeito aos temas associados aos investimentos, às formas de financiamento, e a outros conceitos económico-financeiros, assim como questões ligadas ao enquadramento legal. Nos fatores humanos ou sociais (subcategoria 1.2.3.) apresentam-se conteúdos relacionados com o ambiente de trabalho, com a estrutura organizacional, e abordam-se ainda aspetos direcionados para a requalificação dos colaboradores e com a necessidade de uma maior flexibilidade laboral.

Nas tabelas abaixo pode-se observar que as barreiras mais referidas são as associadas aos aspetos humanos e sociais (mencionadas 12 vezes), ressaltando a questão relacionada com a gestão da mudança. Por outro lado, não é de somenos importância a barreira afeta ao volume do investimento, que recebe as mesmas citações que o fator humano mais referenciado (6).

Tabela 6.7. – Fatores tecnológicos (elaborado pelo autor)

<b>Texto</b>	<b>Categoria Genérica</b>	<b>Sub-categoria</b>	<b>Nº Vezes</b>	<b>Entrevistado</b>
Parque Industrial obsoleto	1.3	1.3.1	3	2, 4, 16
Vulnerabilidade a ataques informáticos	1.3	1.3.1	1	7
Cobertura de rede	1.3	1.3.1	1	16

Tabela 6.8. – Fatores financeiros (elaborado pelo autor)

<b>Texto</b>	<b>Categoria Genérica</b>	<b>Sub-categoria</b>	<b>Nº Vezes</b>	<b>Entrevistado</b>
Volume do Investimento necessário	1.3	1.3.1	6	1, 2, 13, 14, 17, 18
Orçamento limitado	1.3	1.3.1	1	4
ROI alargado	1.3	1.3.1	1	8

Tabela 6.9. – Fatores humanos (elaborado pelo autor)

Texto	Categoria Genérica	Sub-categoria	Nº Vezes	Entrevistado
Gestão da mudança	1.3	1.3.1	6	3, 4, 10, 13, 15, 17
Envolvimento da Gestão de topo	1.3	1.3.1	3	1, 8, 12
Necessidade de <i>reskilling</i>	1.3	1.3.1	2	7, 8
Ausência de recursos dedicados	1.3	1.3.1	1	5
Responsabilidade de <i>downsizing</i>	1.3	1.3.1	1	8

Numa das questões da entrevista, solicitava-se aos entrevistados se consideravam existir dentro das suas organizações as competências humanas necessárias para levar a bom porto os desafios decorrentes da implementação I4.0, sendo que, apesar de cerca de 56% dos inquiridos (10 empresas) referirem a inexistência desses recursos e a consequente necessidade de *reskilling*, somente por 2 vezes foi este aspeto referido como barreira.

Analisando as respostas deste estudo, podemos afirmar que as dificuldades sentidas pela indústria portuguesa podem, tal como elencado por Lima *et al.* (2018), ser categorizadas em 3 tipos: dificuldades de índole humana, de índole tecnológica e de índole financeira, estando em consonância com as barreiras percecionadas em outros países europeus, tal como se constata nos resultados obtidos por Machado *et al.* (2019) no estudo relativo à implementação I4.0 nas empresas suecas, onde os fatores humanos (lacuna ao nível da organização) e os financeiros (capacidade de investimento) são apontados como os principais causadores de entropia no processo. Também na Alemanha, as conclusões dos estudos de Glass *et al.* (2018) e de Kiel *et al.* (2019), revelam o risco do investimento e as questões relacionadas com a readequação de funções como potenciadoras de insucesso na implementação.

### 6.3. Impactos percecionados na implementação do conceito I4.0

Respondendo à quarta questão de pesquisa, na qual se aferia quais as áreas das empresas que mais sentiriam os efeitos da implementação das ações I4.0, atingindo assim o objetivo número 3 deste estudo, foram colocadas 3 questões relativas ao tema.

Tabela 6.10. – Relação Objetivo 3 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista (elaborado pelo autor)

Objetivo	Questões de Pesquisa	Questões de Entrevista
<b>OBJ3:</b> Entender qual o impacto expectável pelas empresas no momento da implementação das ações relacionadas com a Indústria 4.0.	<b>QP4:</b> Em que aspetos da empresa serão sentidos os efeitos da implementação das atividades I4.0 e como serão os mesmos afetados?	<b>QE6:</b> Qual a metodologia utilizada para calcular o impacto de uma implementação da I4.0? <b>QE7:</b> Na sua cadeia de valor, existem unidades com tecnologia I4.0 e como estão elas integradas no processo? <b>QE8:</b> De que forma a implementação de tecnologia I4.0 impactou o negócio, ou seja, quais as principais vantagens que identifica na Indústria 4.0?

Atestando o propósito de maior eficácia operacional apresentado por Kagermann *et al.* (2013), as respostas obtidas nesta investigação direcionam, na sua maioria, o impacto percebido de uma implementação I4.0 para aspetos operacionais, o que corrobora as conclusões de Lucato *et al.* (2019).

Para maior facilidade de leitura dos dados obtidos, compartimentaram-se as respostas em 5 áreas diferentes: processos (onde o controlo do processo, a otimização dos recursos e o aumento da produtividade são as respostas mais frequentes); recursos humanos (relaciona os impactos da dotação de novas competências e também da redução do número de colaboradores); produto final (o aumento da qualidade final do produto é um dos aspetos mais abordados); gestão (com o suporte à decisão e a redução dos custos, a tomarem especial destaque); e por fim, a área dos equipamentos (que contempla aspetos ligados com a melhoria dos indicadores de manutenção, tais como a disponibilidade e a fiabilidade).

Tabela 6.11. – Impactos sentidos na implementação I4.0 (elaborado pelo autor)

Texto	Categoria Genérica	Sub-categoria	Nº Vezes	Entrevistado
Processo	1.4	1.4.1	9	3, 5, 6, 7, 11, 13, 15, 16, 18
Recursos Humanos	1.4	1.4.1	8	3, 5, 6, 7, 11, 15, 16, 18
Produto final	1.4	1.4.1	3	2, 6, 17
Gestão	1.4	1.4.1	3	3, 5, 12
Equipamentos	1.4	1.4.1	2	8, 16

Da análise de conteúdo da tabela 6.11, pode-se concluir que o maior impacto é sentido nas áreas de processo e dos recursos humanos, com as respostas a incidirem numa maior transparência do processo – o que permite um acompanhamento em tempo real e consequente ação corretiva imediata com ganhos óbvios no controlo do processo -, e num aumento de produtividade originando uma maior flexibilidade e agilidade dos colaboradores, o que vai ao encontro do apresentado por Erol *et al.* (2016), onde estas áreas eram apresentadas como as mais impactadas no decorrer de um processo de implementação. De notar ainda, que tal como Oesterreich *et al.* (2016) elencou no seu artigo, foram também percecionadas vantagens ao nível do produto final, da gestão e da otimização dos recursos.

Impõem-se referir que 4 organizações (22.22%) relataram não terem existido impactos relevantes no processo de implementação, por considerarem estarem num estado prematuro do processo.

Procurou-se ainda perceber se o impacto da implementação é alvo de cálculo prévio e ainda, se ao longo da cadeia de valor, as diferentes unidades conseguem alcançar a integração horizontal, decorrendo daí uma maior otimização do processo e ganhos globais.

Das respostas obtidas, consegue-se perceber uma falta de associativismo e espírito de parceria com as organizações integrantes da cadeia de valor, sendo a abertura aos parceiros ainda sentida com desconfiança e receio, não se denotando neste caso, uma melhoria face à mesma conclusão apresentada por Correia *et al.* (2016). Neste capítulo, são de considerar as diferenças de integração entre as PME e as GE, demonstrando as PME uma maior dificuldade de integração (30%) face às grandes empresas que apresentam uma taxa de integração de 50%, conforme se observa na figura 6.4.

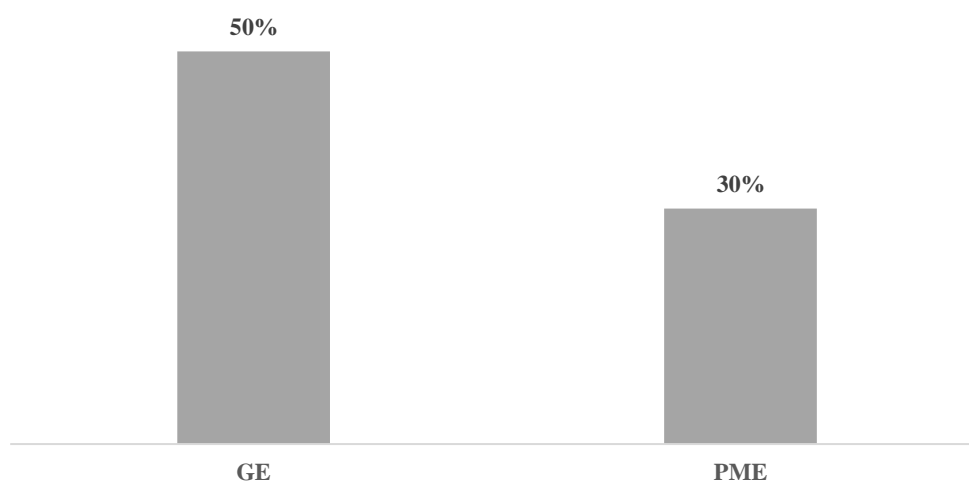


Figura 6.4. – Nível de integração de tecnologia 14.0 na cadeia de valor (elaborado pelo autor)

Relativamente à metodologia utilizada para calcular o impacto da implementação I.40 nas empresas, as conclusões obtidas remetem para um cenário pouco otimista, no qual, mais de 60% das empresas revelam não ter elaborado um plano que lhes permitisse estabelecer uma métrica de comparação entre resultados anteriores e os decorrentes do novo paradigma. Neste aspeto, as diferenças entre as GEs e as PME's não são tão relevantes, quando comparadas com o âmbito anterior, apresentando a falta de plano nas GEs um total de 62.50%, sendo que nas PME's, o mesmo fenómeno acontece em 60% das empresas. Das respostas positivas, identifica-se que a abordagem mais comum nas PME's está inserida dentro de um projeto de investimento, e que nas GEs a metodologia seguida está integrada nos *business cases*, os quais apresentam várias linhas de resolução para um mesmo problema.

#### 6.4. O modelo de maturidade como ferramenta de *assessment*

O último objetivo proposto pretende perceber de que forma pode a Indústria Portuguesa aferir o seu estado da arte relativamente ao seu nível de digitalização. Para tal relacionaram-se com as 2 questões de pesquisa outras 2 questões que foram efetuadas às empresas participantes deste estudo, tal como apresentado na tabela 6.12.

Tabela 6.12. – Relação Objetivo 4 – Questões de Pesquisa – Questões de Entrevista (elaborado pelo autor)

Objetivo	Questões de Pesquisa	Questões de Entrevista
<b>OBJ4:</b> Perceber de que modo podem as empresas industriais portuguesas proceder a uma correta análise do seu “estado da arte”.	<p><b>QP5:</b> Serão os modelos de maturidade as ferramentas indicadas para um correto <i>assessment</i>?</p> <p><b>QP6:</b> Entre os modelos de maturidade existentes, quais aqueles que as organizações devem considerar para levar a cabo o propósito de aferição do estágio de digitalização das mesmas: utilizarão a abordagem sugerida pelas grandes consultoras ou deverão seguir uma linha sustentada pela Academia?</p>	<p><b>QE3:</b> Como foi desenhado o estudo para a implementação de um plano Indústria 4.0 na sua organização? Recorreram a meios próprios ou recorreram a consultoria externa?</p> <p><b>QE9:</b> Como se propôs a empresa a encontrar a(s) ferramenta(s) I4.0 adequadas à obtenção dos resultados pretendidos?</p>

No decorrer das entrevistas, foi detetado o desconhecimento da maioria das organizações da existência de ferramentas que pudessem aferir o seu nível de maturidade digital, e mais

concretamente, a utilização de modelos de maturidade como ponto de partida para uma correta avaliação do seu posicionamento tecnológico na área da Indústria 4.0 (Machado *et al.*, 2019) e posterior construção de um roteiro de implementação. Após a explicação relativa ao modo de funcionamento dos modelos de maturidade, baseada na análise elaborada por Colli *et al.* (2018) e Sucky *et al.* (2019), foram os mesmos considerados por todos os entrevistados, como uma mais-valia a ter em conta, ressaltando contudo, que por se tratar de uma ferramenta de aplicação estratégica, a decisão de utilização deveria situar-se ao nível dos conselhos de administração (no caso das grandes empresas) e das direções gerais (nas PME's).

Pode-se então assumir que, conforme observado no subcapítulo 6.1 (tabela 6.3.), as empresas industriais portuguesas desenvolvem de forma imediata, ações de índole operacional, não procurando primeiramente, a identificação das dimensões que mais carecem de intervenção, sustentando assim a implementação I4.0. Na tabela 6.13. apresenta-se algum do *feedback* transmitido pelos entrevistados, relativamente à abordagem que as suas organizações seguiram, no momento do desenho da implementação, onde se verifica que o desenho de implementação das tecnologias I4.0, não segue nenhum protocolo previamente estabelecido.

Tabela 6.13. – Descrição de metodologias para desenho da implementação I4.0 (elaborado pelo autor)

Texto	Entrevistado
Foram identificados os pontos mais críticos de todo o processo e vulnerabilidade em termos de erro humano (...), e foram feitos investimentos de forma a automatizar as fases do processo procurando garantir fiabilidade, sistematização, replicabilidade (...) de forma a garantir um produto com qualidade e uniforme ao longo do tempo sem grandes oscilações entre encomendas diferentes do mesmo produto por parte de um cliente.	2
4 fases: 1ª Visão (que problemas existem e que podem ser resolvidos através do 4.0) – agilidade e eficiência) 2ª Conceptualização (encontrar respostas - várias e aferi-las) 3ª MVP (valor mínimo do produto) 4ª Scale Up (projeto e implementação em larga escala).	3
<i>Brainstorming</i> e <i>business cases</i> (projeto a projeto) com 4 incidências: máquinas (MTBF e MTTR), pessoas (acesso ao conhecimento e dados de qualidade), gestão (otimização de RH, operações temporárias e formação), logística (veículos autónomos).	5
Através da indicação de equipamentos prioritários e passíveis de um ganho de produtividade mais rápido.	15
(...) a ajuda de fornecedores nacionais que criaram um processo totalmente novo, ajustado a necessidade que tínhamos. Foi feito depois todo o acompanhamento em conjunto com resultados bastante positivo.	18

Observou-se também que o recurso às empresas de consultoria ocorre maioritariamente nas grandes empresas, ainda que estas o façam num contexto misto, isto é, numa perspetiva de parceria com a criação de equipas constituída por elementos internos e externos. Já nas PME's, a utilização de consultoras é praticamente inexistente, sendo que das 8 pequenas e médias empresas com processo de implementação a decorrer, somente 1 (e em regime misto) admitiu recorrer à consultoria.

A parceria com instituições académicas foi referenciada por 14 organizações (77.78%), sendo que a totalidade das PME's (10), manifestou interesse em participar em estudos que visem a análise da sua maturidade digital. No que diz respeito à cooperação entre a Academia e as grandes empresas, conclui-se que esta é uma realidade bastante sustentada, existindo apenas 1 organização que refere esta cooperação como pontual.

Desta última observação, podemos concluir que o modelo de origem académica proposto por Schumacher *et al.* (2016), é o mais adequado para aferição do estado de maturidade digital da Indústria portuguesa, pois assegura uma maior universalidade de utilização do que os modelos corporativos como os originados em Lichtblau *et al.* (2015) e Schuh *et al.* (2017).





## Capítulo VII - Conclusão

### 7.1 Considerações finais

A quarta revolução industrial criou um novo mundo, no qual os sistemas de produção virtuais e físicos cooperam entre si a nível global, trazendo às empresas uma melhoria de produtividade, um ganho de eficiência dos processos e um incremento da qualidade ao produto final, tornando as organizações mais competitivas, elevando os níveis de rendimento global e representando um aumento da qualidade de vida das pessoas (Schwab, 2016).

Assim e atendendo aos benefícios acima mencionados, esta investigação teve como principal objetivo a apresentação do estado da nação, no que à implementação do conceito Indústria 4.0, diz respeito, elencando as vantagens identificadas no decorrer do processo, enumerando as barreiras sentidas e procurando identificar a melhor ferramenta para aferição do nível de maturidade I4.0, quantificando ainda, o nível de implementação I4.0 em Portugal. Após uma extensa revisão da literatura subordinada ao tema, e no seguimento da análise de conteúdo às 18 entrevistas efetuadas a representantes de empresas industriais portuguesas, considera-se ter atingido o propósito da tese, através de um conjunto de conclusões que de seguida se apresentam.

Conforme se pode verificar nas entrevistas efetuadas, a Indústria 4.0 é já um conceito assimilado pelas empresas portuguesas, sendo a sua implementação percebida por todas, como inevitável. A comprovar esta conclusão, temos o facto de quase 90% (88.89%) das organizações já contemplarem no seu plano de ações, iniciativas neste âmbito.

Relativamente à integração da estratégia digital na estratégia global da empresa, é perceptível que o foco de muitas empresas está na tecnologia em si, “saltando” de imediato para os aspetos técnicos e operacionais da solução, desconsiderando a investigação necessária relativamente ao propósito maior da empresa, os seus objetivos, o impacto nas vantagens competitivas e ganhos na cadeia de valor, falhando assim a visão integrada tida como importante para o sucesso da implementação. Atesta-se esta conclusão, através da percentagem de empresas que afirmam que a estratégia digital não está inserida na sua estratégia global (onde 50% das empresas a responder nesse sentido). Também as ferramentas utilizadas no estudo de implementação corroboram esta ideia, sendo as medidas independentes ou os *business cases* aquelas a que as empresas mais recorrem.

Considerando os pilares que suportam a Indústria 4.0, os mais referenciados pelos entrevistados, estão em linha com anteriores estudos feitos sobre o tema em Portugal, mantendo as tecnologias relacionadas com a conectividade, registo, organização e armazenamento de dados,

o destaque face a outros pilares menos utilizados. Contudo, deve-se referir que comparativamente com as investigações passadas, existem tecnologias que conheceram um aumento de utilização, nomeadamente: *robots* autónomos (nas linhas de produção e em processos logísticos), realidade aumentada (maioritariamente em ações de manutenção e formação) e simulação (no desenho de novos processos produtivos).

Como em qualquer novo processo ou procedimento, existem barreiras que vão surgindo ao longo do trajeto de implementação, sendo que no caso português e no decorrer da introdução do conceito em estudo, foram observados em maior número, fatores de índole humana, onde a resistência à mudança, a necessidade de maior envolvimento pela gestão de topo, a referência à readequação de funções e a aquisição de competências digitais, são os mais relatados. A análise às entrevistas revela também, que a dimensão do investimento inicial necessário, assim como alguma dificuldade de acesso ao financiamento e a incerteza que existe face à viabilidade económica deste processo, são também obstáculos à implementação da Indústria 4.0. Outras barreiras foram mencionadas nas entrevistas, ainda que de forma avulsa, e das quais se destacam por serem considerados relevantes, a falta de conhecimento sobre o tema, a dificuldade de associativismo entre parceiros (sejam eles fornecedores, clientes, a academia ou o próprio estado) e a ausência de uma cultura empresarial vincada.

Kagermann *et al.* (2013) apresentava o melhoramento dos indicadores operacionais, como um dos impactos decorrentes da adoção da tecnologia I4.0. Tal foi também constatado no decorrer da presente dissertação, sentindo as empresas portuguesas o impacto ao nível do controlo do processo e no aumento de produtividade. A disponibilização de informação de forma permanente e imediata, o que resulta em tomadas de decisão mais rápidas e precisas, assim como a otimização dos recursos por via da flexibilidade e agilidade dos colaboradores, revelam-se como vantagens a considerar. Contudo, conclui-se que os impactos da implementação não são percebidos de forma imediata pelas organizações, tendo sido transmitido por 4 das empresas inquiridas, uma incapacidade de enumeração destes impactos, devido à fase embrionária em que o processo se encontra.

Quanto ao último objetivo proposto, conclui-se de que a indústria portuguesa (à semelhança das suas congéneres europeias), não inicia o processo no “ponto de partida”, no qual deveria primeiramente fazer uma análise do seu nível de maturidade digital, de modo a partir de uma base mais fundamentada, desenvolvendo um ou mais planos de ação para resolução das carências identificadas e estabelecer um plano de implementação sólido. Ao invés, observa-se no processo de implementação em Portugal, uma preocupação em resolver de forma imediata, situações passíveis de melhoria operacional, ainda que de forma isolada e não considerando toda

a envolvência industrial. Uma nota para o facto de que todas as empresas inquiridas, manifestaram a sua disponibilidade para participar em estudos que visem o melhoramento das suas competências digitais e consequente aumento da sua maturidade digital.

Finalizando, percebe-se ao longo deste estudo, que a indústria portuguesa tem a noção clara das vantagens decorrentes da introdução da tecnologia I4.0 nos seus modelos de negócio, percebendo benefícios que passam por canais comunicacionais mais rápidos e diretos, pelo aumento da agilidade no processo produtivo, no acréscimo das suas vantagens competitivas face aos concorrentes, no crescimento empresarial e no aumento da rentabilidade do negócio, por via da redução de desperdícios e dos custos. Também as barreiras são entendidas de forma assertiva, procurando os industriais, formas de minorar os seus impactos.

Estando a Indústria em Portugal posicionada num estágio inicial do processo de implementação, e tal como em qualquer processo de transformação, deve sem mais demora, analisar o ponto de partida, decidir a meta a que se propõe e definir a rota ajustada à obtenção desse propósito, não esquecendo que a Indústria 4.0 está alicerçada na transformação metodológica e tecnológica dos processos.

## **7.2 Contributo para a implementação do conceito I4.0**

Sendo o fenómeno “Indústria 4.0” relativamente recente, o tema está na agenda de inúmeras organizações, governos e universidades, manifestando todas elas, vontade em contribuir para que esta transformação digital seja uma realidade efetiva.

O trabalho aqui apresentado pretende contribuir para a clarificação do processo de implementação da Indústria 4.0 em Portugal, procurando traçar um cenário fiel e realista do panorama relacionado com a quarta revolução industrial, na medida em que se apresentam, discutem e analisam questões relacionadas com a estratégia digital seguida pelas empresas, questões que consideram as barreiras existentes no momento da implementação e os impactos daí decorrentes, assim como pontos que ajudam as organizações a atestar o seu nível de maturidade digital.

Assim sendo, considerando a importância da problemática mencionada e de maneira a assegurar o propósito de contributo a que esta investigação se propõe, são três os aspetos a ter em conta: em primeiro lugar, levar a que as empresas façam uma reflexão sobre a forma como estão a conduzir o processo de implementação da Indústria 4.0, e quais os impactos (positivos ou não) que advêm das suas decisões; em seguida, dar a conhecer outros exemplos de implementação (nacionais e/ou internacionais) que possibilitem a demonstração das diferentes soluções, beneficiando a indústria portuguesa no seu papel de *fast follower*, através do estudo das

experiências de implementação ocorridas noutros países com estágios de maturidade digital mais avançados; e por fim, apresentando e incentivando a utilização de roteiros de implementação que podem ser progressivos ou mais diretos, suportados na introdução e aplicação de modelos de maturidade digital nas organizações, identificando através dessa ferramenta, as dimensões onde é necessária uma intervenção mais premente e incisiva.

### **7.3 Limitações da pesquisa**

Tendo utilizado uma abordagem qualitativa, baseada na análise de conteúdo de 18 entrevistas a quadros médios e superiores da indústria portuguesa, é importante referir que as conclusões a que este estudo chegou, não podem ser generalizadas ou consideradas representativas do tecido industrial português, em virtude do reduzido tamanho da amostra, e do facto de reproduzir observações relativas a uma experiência específica (implementação I4.0) num país em particular (Portugal).

Não obstante o acima mencionado, regista-se o facto, de o presente estudo corroborar conclusões obtidas em literatura existente subordinada ao tema.

### **7.4 Sugestões para pesquisa futura**

Seria interessante utilizar a presente investigação, como ponto de partida para uma análise mais aprofundada da implementação do conceito I4.0 em Portugal, na qual e numa primeira fase, aumentando a dimensão da amostra atestar-se-iam as conclusões apresentadas no presente estudo, recorrendo à mesma abordagem qualitativa.

No seguimento dessa análise de conteúdo, e após a seleção de um modelo de maturidade considerado como o mais adequado à realidade portuguesa, proceder-se-ia à caracterização do nível de maturidade digital das indústrias nacionais, seguindo uma metodologia qualitativa.

Do resultado desta sugestão para investigação futura, poder-se-á então caracterizar a indústria portuguesa de forma mais pormenorizada, estabelecendo comparações entre as diferentes regiões, ou caracterizando separadamente os vários sectores industriais, a título de exemplo.

Como sugestão final, fica a possibilidade de construção de um roteiro de implementação da estratégia I4.0, baseado nas conclusões obtidas nessa investigação, tipificando as empresas portuguesas de acordo com o modelo sugerido, e propondo planos de ação direcionados para cada estágio de desenvolvimento.





## Bibliografia

- Afonso, O. (2018, Novembro 11). Indústria 4.0: O conceito e o caso português. Dinheiro Vivo. <https://www.dinheirovivo.pt/opiniaio/industria-4-0-o-conceito-e-o-caso-portugues/> [Acesso: 03/03/2021]
- Albers, A., Gladysz, B., Pinner, T., Butenko, V., & Stürmlinger, T. (2016). Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems. *Procedia CIRP*, 52, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.067>
- Antunes, J. G., Pinto, A. P. S., Reis, P. M. N., & Henriques, C. M. R. (2019). A Indústria 4.0 e o seu Impacto no Tecido Económico Empresarial Português: O Caso da Região Dão-Lafões. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 8(3), 263–291. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p263-291>
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>
- Bierhold, T. (2018). For a better understanding of Industry 4.0 – Industry 4.0 maturity model. *11th IBA Bachelor Thesis Conference*, 1–22.
- Colli, M., Madsen, O., Berger, U., Møller, C., Wæhrens, B. V., & Bockholt, M. (2018). Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1347–1352. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.343>
- De Carolis, A., Tavola, G., & Taisch, M. (2017). Gap analysis on research and innovation for cyber-physical systems in manufacturing. *Studies in Computational Intelligence*, 694, 61–70. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51100-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51100-9_6)
- EFFRA. (2016). *Factories 4.0 and Beyond: Recommendations for the work programme 18-19-20 of the FoF PPP under Horizon 2020*. 67. <http://www.effra.eu/factories-future-roadmap>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Esmailian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39(April), 79–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>
- Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). Maturity models in the age of industry 4.0 - Do the available models correspond to the needs of business practice? *Proceedings of the*

- Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2019-January*(January), 5165–5174. <https://doi.org/10.24251/hicss.2019.620>
- FoF - Factories 4.0 and Beyond (2016). Disponível em: ([https://www.effra.eu/sites/default/files/factories40\\_beyond\\_v31\\_public.pdf](https://www.effra.eu/sites/default/files/factories40_beyond_v31_public.pdf)) [Acesso: 25/07/2021]
- Gärtner, B. (2018). Industry 4.0 maturity index. *Assembly*, 61(12), 32–35.
- Glass, R., Meissner, A., Gebauer, C., Stürmer, S., & Metternich, J. (2018). Identifying the barriers to Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 985–988. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.187>
- Gouveia, H., Castro, H., Carvalho, A., Duarte, M. H., Gill, C., Varum, C., & Teixeira, L. (2019). *Avaliação da Maturidade i4.0 de Empresas Nacionais - Resultados do estudo SHIFTto4.0*. 1–66. <https://www.iapmei.pt/getattachment/PRODUTOS-E-SERVICOS/Assistencia-Tecnica-e-Formacao/Ferramentas/SHIFT-to-4-0/Relatorio-do-Projeto-Piloto-SHIFT-to-4-0.pdf.aspx>
- Gunes, V., Peter, S., Givargis, T., & Vahid, F. (2014). A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 8(12), 4242–4268. <https://doi.org/10.3837/tiis.2014.12.001>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Huxtable, J., & Schaefer, D. (2016). On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. *Procedia CIRP*, 52, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.042>
- Jensen, M. C. (2005). Modern Industrial Revolution, Exit, and the Failure of Internal Control Systems. *SSRN Electronic Journal, December 2000*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.93988>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, April*, 1–84.
- Lucato, W. C., Pacchini, A. P. T., Fachini, F., & Mummolo, G. (2019). Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1808–1813. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.464>
- Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D



- challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- Mosconi, F. (2015). The New European Industrial Policy: Global Competitiveness and the Manufacturing Renaissance. *The New European Industrial Policy: Global Competitiveness and the Manufacturing Renaissance*, 1–230. <https://doi.org/10.4324/9781315761756>
- Najafabadi, M. M., Villanustre, F., Khoshgoftaar, T. M., Seliya, N., Wald, R., & Muharemagic, E. (2015). Deep learning applications and challenges in big data analytics. *Journal of Big Data*, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40537-014-0007-7>
- Nick, G., Gallina, V., Szaller, Á., Várgedő, T., & Schumacher, A. (2019). Industry 4.0 in Germany, Austria and Hungary: Interpretation, strategies and readiness models. *16th IMEKO TC10 Conference 2019 & Testing, Diagnostics and Inspection as a Comprehensive Value Chain for Quality and Safety*, 71–76.
- NovaSBE Center for Digital Business, & EY. (2018). *Estudo da Maturidade Digital das empresas portuguesas*. 1–18.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83(January 2019), 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2018). Engineering industrial cyber-physical systems: An application map based method. *Procedia CIRP*, 72, 456–461. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.126>
- Oliveira, A. C. de, & Kaminski, P. C. (2012). A reference model to determine the degree of maturity in the product development process of industrial SMEs. *Technovation*, 32(12), 671–680. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.08.001>
- Oliveira, J. (2019, Outubro 30). *Big Data*, uma bola de cristal para prever o futuro. *Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/big-data-uma-bola-de-cristal-para-prever-o-futuro-507321> [Acesso: 15/07/2021]
- Probst, L., Lefebvre, V., Martinez-Diaz, C., Unlu Bohn, N., Klitou, D., & Conrads, J. (2018). Digital Transformation Scoreboard 2018 - EU businesses go digital: Opportunities, outcomes and uptake. In *Digital Transformation Monitor*. <https://doi.org/10.2826/691861>
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Rüßmann, M. et al. (2015). Future of Productivity and Growth in Manufacturing. *Boston*

- Consulting, April*. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Schwab, K. (2016). A Quarta Revolução Industrial. Levoir
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihh, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52(February 2020), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihh, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110>
- STEARNS. PETER N. (2018). *The Industrial Revolution in World History. 4th ed.*, 330.
- Stefan, L., Thom, W., Dominik, L., Dieter, K., & Bernd, K. (2018). Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model. *Procedia CIRP*, 72, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.155>
- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2020). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977–997. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

**Anexo A - Guião de Entrevista**

Nome e Cargo do Entrevistado:	
Nome da Empresa:	
Sector de Actividade:	
Nº de Funcionários:	
Volume de Negócios (2020):	

QE1: Já foram efectuados investimentos ou existe a intenção de investir em tecnologia no âmbito da indústria 4.0? Qual a percentagem do orçamento anual que está apensa a este propósito?

QE2: Está a estratégia digital implementada de forma integrada com a estratégia geral da empresa? Como se consegue garantir a integração vertical do conceito em toda a organização?

QE3: Como foi desenhado o estudo para a implementação de um plano Indústria 4.0 na sua organização? Recorreram a meios próprios ou recorreram a consultoria externa?

QE4: Na sua opinião e baseado na experiência vivida, quais os principais desafios/dificuldades que se colocam no adopção de tecnologias I4.0 e como se ultrapassam?

QE5: Considera existirem na sua empresa as competências humanas necessárias para fazer face aos desafios da I4.0? Foi necessário algum plano de *reskilling* dos quadros existentes?

QE6: Qual a abordagem económica utilizada para calcular o impacto de uma implementação da i4.0?

QE7: Na sua cadeia de valor, existem unidades com tecnologia I4.0 e como estão elas integradas no processo?

QE8: De que forma a implementação de tecnologia I4.0 impactou o negócio, ou seja, quais as principais vantagens que identifica na Indústria 4.0?

QE9: Como se propôs a empresa a encontrar a(s) ferramenta(s) I4.0 adequadas à obtenção dos resultados pretendidos?

QE10: Para finalizar, qual considera ser o estado de implementação da Indústria 4.0 na sua empresa, e qual prevê que seja esse mesmo estado dentro de 3 anos? Considere uma escala de 1 a 5, onde 1 indica “nada implementada” e 5 “totalmente implementada”.

