

# **Indústria 4.0: um novo paradigma técnico-económico?**

por

**Inês Ramada de Oliveira**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Economia e Gestão da  
Inovação pela Faculdade de Economia do Porto

Orientada por

Professor Argentino Conceição da Silva Pessoa

2017

## **Nota Biográfica**

Inês Ramada de Oliveira nasceu a 11 de Outubro de 1994 na cidade de Guimarães.

Em Julho de 2015 obteve a licenciatura em Gestão pela Escola de Economia e Gestão da Universidade do Minho, com a classificação final de 14 valores. Iniciou em Agosto do mesmo ano um estágio de verão na entidade bancária Novo Banco, no balcão de Celeirós, Braga. Em Setembro ingressou no mestrado em Economia e Gestão da Inovação na Faculdade de Economia do Porto.

Iniciou um estágio na SonaeMC em Setembro de 2016, tendo integrado a equipa de CCR (Customer Centric Retailing), na direção cliente até Setembro do presente ano.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais e aos meus irmãos que sempre me apoiaram e incentivaram ao longo de todos os projetos e desafios a que me propus.

Ao meu orientador, Professor Argentino Pessoa, por todo o conhecimento e experiência, apoio e disponibilidade com que pude sempre contar ao longo da realização da presente dissertação.

Aos meus amigos, pela amizade, paciência e companhia.

## Resumo

A crescente volatilidade dos mercados e a necessidade de aceleração de um processo produtivo cada vez mais complexo, gera uma necessidade de criação de novas abordagens na produção, sendo necessário um ajuste do foco para produtos personalizados e de rápida comercialização. Impõe-se assim às organizações alterações estruturais cada vez mais profundas de forma a assegurarem uma posição competitiva no mercado, exigindo por isso um elevado nível de dinamismo e flexibilidade.

Neste contexto, verifica-se um crescente entusiasmo e expectativa decorrente do processo de desenvolvimento e implementação dos sistemas de tecnologias inerentes ao conceito de indústria 4.0, como os *cyber-physical systems* e a *internet of things*. Surge assim a necessidade de perceber a influência e o potencial deste avanço tecnológico e verificar se de facto estamos perante uma mudança de paradigma tecnológico, como já é frequentemente afirmado.

Através da pesquisa de artigos científicos relevantes da área económica, foi possível identificar as principais características intrínsecas a um paradigma técnico-económico de forma a verificar, numa fase posterior, se estas se aplicam ou não aos princípios associados à indústria 4.0.

Como conclusão deste estudo, assumiu-se que a indústria 4.0 revela características que podem ser enquadradas na definição de paradigma técnico-económico, uma vez que cumpre os três critérios-base definidos por Carlota Perez (2010) associados a esta taxonomia, nomeadamente, alteração da estrutura de custos, perceção de espaços de oportunidade e surgimento de novos modelos organizacionais.

**Palavras-chave:** indústria 4.0, inovação, paradigma técnico-económico, mudança tecnológica

**Códigos JEL:** O33, B25, L22

# Abstract

The growing volatility of the markets and the need to accelerate the increasingly complexity of the production process creates an urge to find new approaches to production, focusing on customized products that can be rapidly commercialized. Therefore, the organizations are expected to undergo deep structural changes in order to ensure a competitive position on the market, thus requiring a higher level of dynamism and flexibility.

In this context, there is a growing enthusiasm and expectation arising from the process of developing and implementing the technology systems inherent to the concept of industry 4.0, such as cyber-physical systems and the internet of things. Therefore, the need to perceive the influence and the potential of this technological advance arises as well as the necessity to verify if in fact we are currently facing a change of technological paradigm, as it is often said.

Through the research of relevant scientific articles of the economic area, it was possible to identify the main characteristics intrinsic to a techno-economic paradigm in order to verify, at a later stage, whether these apply or not to the principles associated to the industry 4.0.

As a conclusion of this study, it was assumed that industry 4.0 reveals characteristics that can be included in the definition of a techno-economic paradigm, since it fulfills the three basic criteria defined by Perez (2010) associated to this taxonomy, in particular, changes in the cost structure, the perception of opportunity spaces and new organizational models.

**Key Words:** industry 4.0, innovation, techno-economic paradigm, technological change

**JEL Codes:** O33, B25, L22

# Índice

1. Introdução .....	1
2. A dinâmica económica.....	4
2.1. A Inovação .....	4
2.2. A Abordagem evolucionista.....	7
2.3 A taxonomia das inovações de Freeman e Perez .....	9
2.4. O paradigma técnico-económico.....	10
2.4.1. Características dos paradigmas técnico-económicos .....	12
2.4.2. Os cinco picos de desenvolvimento e os paradigmas técnico-económicos associados .....	13
2.5 Crises de ajustamento associadas às mudanças de paradigma .....	20
3. Indústria 4.0 .....	23
3.1. Origem do conceito .....	23
3.2. Principais inovações.....	24
3.3. Implicações da Indústria 4.0 nas cadeias de valor e na estruturação da indústria.....	26
4. Será a Indústria 4.0 um novo paradigma técnico-económico?.....	30
4.1 Estrutura de custos .....	32
4.2 Perceção de espaços de oportunidade .....	33
4.3 Novos modelos organizativos .....	34
5. Pistas para investigação futura .....	36
6. Conclusão.....	38
Referências bibliográficas.....	40

## Índice de Quadros

<b>Quadro 1.</b> Setores de atividade e principais características dos paradigmas técnico-económicos.....	18
<b>Quadro 2.</b> Indústria 4.0: Definição das principais características.....	31

## Lista de acrónimos

- CPS — *Cyber-physical systems*
- I&D — Investigação e desenvolvimento experimental
- IoT — *Internet of things*
- PLCs — *Programmable Logic Controllers*
- PMEs — Pequenas e Médias Empresas
- SCP — *Smart connected products*
- SF — *Smart factories*
- TIC — Tecnologias da informação e comunicação

# 1. Introdução

Após a primeira revolução Industrial, revoluções subsequentes resultaram em alterações substanciais na Indústria, desde máquinas a vapor até à produção automatizada elétrica e digital. Os processos industriais têm vindo a complexificar-se, a tornarem-se autónomos e sustentáveis, traduzindo-se num manuseamento mais simplificado, eficaz e consistente das máquinas. Atualmente, a indústria moderna tem um papel essencial na economia, nomeadamente nos países europeus: cerca de 17% do PIB é contabilizado para a indústria, gerando aproximadamente 32 milhões de postos de trabalho na União Europeia (E.Commission, 2015).

No entanto, nos últimos anos, as Indústrias Europeias têm vindo a deparar com vários desafios, como é o caso da crescente capacidade competitiva dos países em desenvolvimento. Em 2011, a quota de valor industrial dos países em desenvolvimento (como a China, Índia e Brasil) era de cerca 40%, tendo aumentado 179% desde 1990. Como contraste surgem os países da Europa Ocidental, com uma diminuição de quota de valor industrial de 11pp (pontos percentuais) (de 36% para 25%), 8pp na Alemanha, 20pp na França e 29pp no Reino Unido (Qin et al., 2016). A necessidade de combater a perda de importância da indústria europeia leva ao desenvolvimento de tecnologias industriais de forma a reduzir custos com força de trabalho, diminuir o tempo de desenvolvimento do produto, utilizar de forma mais eficiente os recursos, entre outros, apoiando-se nos *Cyber Physical Systems* (CPS) e na *Internet of Things* (IoT), que têm vindo a ser desenvolvidos na última década (Qin et al., 2016).

*Cyber Physical Systems* (CPS) são sistemas automatizados que permitem a conexão das operações da realidade física com infraestruturas computacionais e comunicacionais (Jazdi, 2014). No fundo consistem em tecnologias transformativas para gerir sistemas interconectados. Os desenvolvimentos tecnológicos recentes que resultaram numa maior disponibilidade e acessibilidade a sensores, sistemas de aquisição de dados e redes informáticas associados à natureza competitiva da indústria atualmente impulsiona cada vez mais fábricas à implementação de metodologias *high-tech*. Paralelamente, o uso crescente de sensores e máquinas interligadas, tem resultado na geração contínua de um elevado volume de dados (*Big Data*). Neste ambiente, os

CPS podem ser desenvolvidos no sentido de gerir esse volume elevado de dados de forma a obter vantagem da interligação entre máquinas e alcançando assim o objetivo de máquinas inteligentes, resilientes e auto adaptáveis (Lee et al., 2015).

Com a globalização e com a crescente competição de qualidade do produto e custos elevados de produção, muitas indústrias têm vindo a ser "atingidas" pela realocação de fábricas instaladas para países em desenvolvimento, países esses que têm conseguido reduzir substancialmente o gap de produtividade e qualidade. As empresas de produção já estabelecidas têm vindo a reconhecer um crescente desinteresse por parte dos clientes em pagar um valor mais elevado por melhorias incrementais de qualidade do produto. Consequentemente, muitas empresas de produção industrial alemãs ajustaram o seu foco para a produção de produtos customizados e de rápida comercialização (Brettel et al., 2014).

Estas são algumas das condições que explicam a crescente influência na criação de valor industrial dos processos conducentes a uma quarta fase de industrialização, já denominada como Indústria 4.0.

A Alemanha está a liderar a transformação rumo a esta nova fase, tendo impulsionado e alertado para a importância do conceito aquando da apresentação do seu plano de ação das estratégias tecnológicas 2020.

Com o desenvolvimento do IoT e dos CPS as componentes industriais relevantes como sensores, máquinas, produtos, cadeia de valor e clientes, têm a capacidade de estar conectados, o que se traduz numa maior troca de informação e num controlo das ações de cada uma das partes mais exato, executado de forma independente e autónoma.

Assim, a integração destes CPS na produção, logística e serviços fomenta a transformação e desenvolvimento de fábricas e um incremento significativo do potencial económico.

Prevê-se atualmente, por isso, que o desenvolvimento em direção à Indústria 4.0 influencie globalmente, e de forma significativa, a tecnologia e a produção industrial. Todavia existe ainda uma grande necessidade de investigação, uma vez que se trata de um processo embrionário na maioria dos países, pelo que ainda não existe um volume significativo de informação e dados de carácter económico sobre o tema. Acresce que à escassez de informação económica se junta a necessidade de escrutinar muita da informação existente que aliás se encontra mais orientada para a esfera da engenharia.

Pelas razões acima indicadas, e pela expectativa que este tema tem vindo a criar ao nível de incremento da produção na indústria, surge a necessidade de perceber se, de facto, estamos perante uma mudança de era, um novo paradigma como muitos já afirmam, no fundo, uma inovação capaz de causar disrupção no sistema produtivo da forma como o conhecemos atualmente. Pretende-se por isso, mais concretamente, responder à questão: 'Será a Indústria 4.0 um novo paradigma técnico-económico?' .

Com recurso à pesquisa de artigos científicos relevantes da área, pretende-se inicialmente fazer uma abordagem à dinâmica económica que envolve a inovação, abordando os principais contributos para a definição do conceito, dirigindo posteriormente o âmbito dessa pesquisa para a taxonomia das inovações, mais concretamente para os novos paradigmas técnico-económicos e respetivas características. Numa segunda fase pretende-se reunir e identificar as principais especificidades inerentes à Indústria 4.0, suportada também em pesquisa de informação relevante da esfera económica, de forma a perceber se essas características se coadunam com as de um novo paradigma técnico-económico, procurando assim obter uma resposta à pergunta formulada.

## 2. A dinâmica económica

### 2.1. A Inovação

Ao longo do tempo, muitos foram os autores, das diferentes áreas de estudo, que propuseram definições para o termo inovação. Trata-se porém de uma tarefa complexa uma vez que o conceito de inovação abrange uma panóplia de diferentes tipos de mudança (novos produtos, materiais, novos processos, serviços ou formas organizacionais), dependentes dos recursos disponíveis da organização, das capacidades, estratégias e requerimentos.

Na área da Economia, destaca-se o contributo de Joseph Schumpeter, tendo sido este autor reconhecido como um dos mais influentes de todos os tempos pelo seu contributo para a definição do conceito. Schumpeter (1934) definiu 'Inovação' como novas combinações, introdução de um novo produto ou de uma nova qualidade de produto, de um novo método de produção, um novo mercado, ou uma nova fonte de fornecimento de matérias-primas para proceder à implementação em organizações de uma qualquer indústria.

A abordagem de Schumpeter pode ser vista como uma combinação entre a influência de Karl Marx, a corrente emergente da época — corrente neoclássica — e a *German Historical School*. De Marx, ele assumiu a perspectiva dinâmica, da *German Historical School*, a ênfase na especificidade histórica (no que diz respeito à tecnologia, indústria/setor, instituições...). Da corrente neoclássica, assumiu a necessidade de uma abordagem micro-baseada na qual a evolução é explicada pela interação de agentes individuais e não pela economia global (nação).

No entanto, apesar de grande admirador da abordagem neoclássica contemporânea, particularmente do trabalho de Walras, Schumpeter discordava da sua visão. Walras defendia que a vida económica é essencialmente passiva, adaptando-se às influências naturais e sociais que podem atuar sobre si. Defendia a dificuldade e improbabilidade de identificação de fatores com contribuição para uma mudança histórica, existindo apenas a possibilidade de registo dessas mesmas mudanças.

Pelo contrário, Schumpeter acreditava na existência de uma fonte de energia dentro do sistema económico, capaz de criar disrupções em qualquer equilíbrio alcançado. Defendia, por isso, a necessidade de existência de uma teoria puramente económica de alterações económicas, baseada não apenas em fatores externos como explicação para os impulsos do sistema económico de um equilíbrio para o outro. O argumento que diferenciou Schumpeter dos restantes economistas da sua época foi esta visão de que a evolução económica era um processo gerado pelo próprio sistema económico (Fagerberg, 2003).

Schumpeter foi fortemente influenciado pela visão dinâmica de Marx, no entanto adotou também a ideia de capitalismo evolutivo que defende que este é conduzido por uma competição tecnológica entre organizações.

Marx sugeriu que a principal forma das empresas capitalistas manterem a sua posição competitiva passaria pelo aumento da produtividade, através da introdução de novas máquinas e de melhor qualidade. Defendia ainda que empresas que conseguissem aumentar a sua eficiência através da implementação de novas tecnologias veriam a sua posição competitiva melhorada, ao passo que as outras acabariam por falhar e sair do mercado. Para a economia agregada, esta afirmação implicaria que a acumulação de capital e aumento de produtividade "andavam de mãos dadas". Schumpeter, adotou este argumento e tornou-o central na sua exposição dinâmica. Para o economista, este tipo de competição era a verdadeira natureza da competição capitalista, contrastando com a visão defendida nos livros tradicionais da época de competitividade baseada no preço. Schumpeter estendeu ainda o argumento de Marx com a introdução de uma noção mais abrangente de inovação (mencionada anteriormente) onde incluiu outros elementos — desenvolvimento de novos produtos, ou novas variedades de um produto, novas matérias-primas e materiais, a criação de novos mercados e novas formas de organizar o negócio.

A recompensa económica associada a uma inovação bem-sucedida é, segundo Marx e Schumpeter, transitória na natureza, desaparecendo com o surgimento de um número significativo de imitadores. No entanto, para Schumpeter, esta interação entre imitação e inovação também desencadeia efeitos positivos no crescimento, durante um período de tempo, da indústria ou setor no qual a inovação ocorre. Adicionalmente, defendia que uma inovação bem-sucedida afetava as áreas mais indiretamente

relacionadas com esta, uma vez que tende a facilitar/induzir o aparecimento de outras inovações.

Schumpeter enquadrou o conceito de inovação no seu trabalho como sendo o resultado de uma luta constante entre indivíduos empenhados, dotados de uma visão e ambição em fazer as coisas de forma diferente e melhor e um ambiente social inerente com uma forte preferência para o *business as usual*.

Um aspeto bastante importante que Schumpeter fez questão de frisar no seu trabalho foi a necessidade de distinção entre os conceitos de inovação e invenção. Para Schumpeter, inovação consiste numa atividade social específica (função) realizada na esfera económica e com um propósito comercial, enquanto que as invenções podem ser desenvolvidas num qualquer lugar (como é o caso das universidades) e sem qualquer intenção de serem comercializadas, pertencendo por isso ao domínio da ciência e tecnologia (Fagerberg, 2003). Segundo Perez (2010), o espaço do tecnologicamente possível é bastante superior ao do economicamente rentável e com potencial para ser amplamente aceite socialmente. É com o lucro em mente que os empreendedores e gestores se focam constantemente na tentativa de transformação de invenções em inovações, no fundo a transformação das descobertas técnicas em realidades económicas.

Na mesma linha de pensamento de Schumpeter, Grant definiu o conceito de invenção como sendo a criação de novos produtos ou processos através do desenvolvimento e criação de novo conhecimento ou de novas combinações de conhecimento já existente. Para o autor, inovação, consiste na comercialização inicial da invenção através da produção e da divulgação (marketing) de um novo bem ou serviço ou através da utilização de um novo método de produção. Para este economista britânico especializado em estratégia, a etapa da difusão é aquela que se segue à fase da inovação, consistindo por isso no período do processo em que a inovação se torna progressivamente disponível para utilização, através da adoção por parte de organizações ou indivíduos. Pelo lado da procura, a difusão ocorre aquando da compra do bem ou serviço por parte dos consumidores. Pelo lado da oferta, o processo inicia-se quando os concorrentes começam a imitar e a incorporar a nova tecnologia no seu próprio processo (Grant, 2002).

## 2.2. A Abordagem evolucionista

Existe um núcleo comum entre Schumpeter e outros autores importantes que também defendem uma abordagem evolucionista, como Hodgson (1993) e Anderson (1994) por exemplo. Este núcleo consiste em três argumentos inter-relacionados que definem as dinâmicas evolutivas. O primeiro argumento, é um fundamento básico que coloca a inovação como principal fator responsável pelo desenvolvimento de longo prazo — quanto maior o número de inovações, maior o grau de variedade e mais dinâmica se torna a economia; sem inovação a economia estabilizaria num estado bem definido caracterizado por um crescimento baixo ou nulo.

O segundo argumento afirma que o processo evolutivo é caracterizado por regularidades fortes, como a sequência entre inovação e imitação — os inovadores são recompensados num período inicial, porém essas vantagens desaparecem gradualmente com o aparecimento de imitadores. Outra regularidade importante está relacionada com o papel da inovação enquanto indicador de mudança futura, isto é, uma inovação significativa potencia o desenvolvimento de certos tipos de aplicações em determinados contextos, que leva à ligação de inovações ou tecnologias que partilham o mesmo âmago (*clustering*).

O terceiro argumento é respetivo ao papel dos agentes (e cognição) desempenhado no processo evolutivo. Basicamente, os autores que defendem a abordagem evolucionista encaram o conhecimento económico como sendo um conjunto de rotinas (direcionadas para a ação) que são reproduzidas (relembradas) através da prática. O efeito combinado da imprevisibilidade do futuro ("*the open-character of evolution*") com a potencial complexidade do processo de decisão económica ("*the impossibility of surveying all the effects and counter-effects*") força as entidades a abandonarem o ideal de "homem racional", procurando antes uma estratégia mais "económica" (realista) (Fagerberg, 2003).

As diferenças entre as teorias evolucionistas e outras correntes de investigação são por vezes bastante difusas. Um exemplo disso é a chamada *new growth theory* 'nova teoria do crescimento' (Aghion e Howitt, 1992, 1998; Helpman 1993; Lucas, 1988; Romer, 1986, 1990; Pessoa, 2005) que importou muitas das ideias da abordagem evolucionista. Existem dois mecanismos de crescimento realçados nesta teoria: a

aprendizagem incremental e o investimento em I&D (inovação).Do segundo mecanismo realçado nesta corrente, destaca-se o facto do conhecimento ser parcialmente exclusivo através do uso de direitos de propriedade. Daqui advém uma necessidade de criação de um incentivo económico à inovação. O inovador, ao exercer o seu direito de propriedade, pode reter os benefícios económicos resultantes, no entanto, existem sempre externalidades que se difundem ao restante sistema económico, aumentando assim a quantidade de conhecimento social público e potenciando a criação de novas inovações. Esta linha de pensamento assemelha-se a alguns dos argumentos de Schumpeter, em particular no que diz respeito aos aspetos cumulativos da tecnologia. No entanto, quando se procede a um maior escrutínio dos argumentos, verifica-se que as diferenças são mais vincadas.

A literatura evolucionista foca-se na existência de agentes heterogéneos, de racionalidade limitada (a capacidade de processar informação é limitada, antes da tomada de decisão não é possível a consideração de todas as possibilidades, mas sim apenas aquelas possibilidades que conseguiram aprender), que procuram o caminho através de um sistema de tentativa/erro (num ambiente caracterizado por uma incerteza radical). Na nova teoria do crescimento, todo este pressuposto é reduzido à existência de um agente "representativo" e "perfeitamente racional" dotado com "informação perfeita". Observa-se ainda que na abordagem evolucionista, o conhecimento economicamente útil é analisado como sendo um fenómeno que, a uma larga escala, se manifesta numa organização através de rotinas partilhadas que são reproduzidas através da prática. Contrastando com esta visão, na nova teoria do crescimento, encara-se o conhecimento como sendo um bem público, ou um stock de informação pública, que estaria disponível de forma livre se não existissem meios legais que limitam essa mesma disponibilidade.

Embora se verifique uma concordância na importância da inovação no desenvolvimento económico de longo prazo e nas suas implicações, as duas correntes olham o mundo através de lentes muito diferentes (Fagerberg, 2003).

### **2.3 A taxonomia das inovações de Freeman e Perez**

Segundo Freeman (1991) é possível segmentar e definir uma taxonomia para as inovações com base na identificação das características principais e dos efeitos consequentes no domínio técnico e económico. Esta taxonomia distingue as inovações e a sua difusão em quatro categorias distintas: inovações incrementais, inovações radicais, novos sistemas tecnológicos e novos paradigmas técnico-económicos.

Inovações incrementais, segundo o autor, ocorrem de forma relativamente regular e contínua, ainda que em ritmos diferentes nas várias indústrias. As inovações deste tipo consistem em aperfeiçoamentos dentro da variedade ou gama de produtos, processos, organizações ou sistemas de produção. Neste sentido, estão intimamente relacionadas com o desenvolvimento da procura no mercado e da experiência dos utilizadores. Apesar dos seus efeitos combinados serem extremamente importantes no crescimento da produtividade, não têm individualmente um efeito significativo e não induzem mudanças estruturais na economia.

Para o autor, as inovações radicais consistem em acontecimentos descontínuos no tempo, resultantes de atividades de investigação e desenvolvimento deliberadas em universidades ou empresas, que envolvem mudanças tecnológicas e organizacionais que, não se encaixando de forma imediata no ambiente instituído, conduzem a mudanças estruturais na economia. Potenciam o aparecimento e crescimento de novos mercados e as vagas de novo investimento associadas a alturas de expansão económica (Freeman, 1991). As inovações individuais radicais são frequentemente introduzidas numa versão relativamente primitiva e, uma vez conseguida a aceitação por parte do mercado, ficam sujeitas a uma série de inovações incrementais (Perez, 2010). Apesar da importância que as grandes inovações radicais têm na determinação de novo investimento e de crescimento económico, a expansão depende das inovações incrementais (Perez, 2010).

Outra categoria definida por Freeman corresponde aos novos sistemas tecnológicos, que podem ser encarados como "constelações" (*clusters*) de inovações radicais e incrementais, que estão técnica e economicamente inter-relacionadas, uma vez que surgem na mesma linha de progresso técnico e científico e são complementares

no uso. Impactam a economia uma vez que têm implicações num ou em vários setores, podendo inclusive levar à sua fusão (Freeman, 1991).

A complexa e dinâmica rede que é gerada pela interação entre o domínio técnico-económico e social foi aquilo a que *Schumpeter* se referiu como "*clusters*" de inovações. As inovações de grande dimensão e impacto significativo tendem a apoiar-se noutras inovações, necessitando assim para a sua ocorrência de inovações complementares a montante e a jusante, acabando também por induzir novas inovações, inclusive alternativas competitivas (Perez, 2010).

A categoria mais complexa de mudança tecnológica na taxonomia de Freeman e Perez foi apelidada por estes autores de paradigma técnico-económico. Um novo paradigma técnico-económico altera radicalmente determinados setores, levando ao crescimento de uns e à destruição de outros. Integra vários *clusters* de inovações radicais e incrementais e pode ainda englobar novos sistemas tecnológicos. Este conceito de paradigma realça a importância de inovações incrementais no percurso de crescimento que se segue a cada inovação radical, mas também a existência de uma lógica partilhada coletivamente, consequente da convergência de um potencial tecnológico, custos relativos, aceitação de mercado, coerência funcional e outros fatores.

## **2.4. O paradigma técnico-económico**

Uma característica fundamental deste tipo de mudança tecnológica é a disseminação dos efeitos que provoca na economia, não só levando ao surgimento de novas variedades de produtos, serviços, sistemas e indústrias, como afetando direta ou indiretamente quase todos os outros ramos da economia (ex. Produção em massa). A escolha do termo 'técnico-económico' em alternativa a 'paradigma tecnológico' enfatiza a interatividade que caracteriza as mudanças em questão, envolvendo mudanças organizacionais assim como mudanças tecnológicas que vão muito para além de tecnologias de produtos ou processos específicos, afetam a estrutura de custos de produção e de distribuição ao longo do sistema.

Uma das características mais relevantes do padrão de difusão destes paradigmas consiste na sua disseminação da indústria de onde inicialmente surge, ou de áreas onde a sua aplicação é bastante lucrativa, para uma grande diversidade de indústrias e serviços e para a economia como um todo. Uma alteração de paradigma consiste numa alteração radical das práticas de engenharia e gestão consideradas como sendo as melhores em termos de produtividade e rentabilidade. Isto é aplicável a muitas indústrias, mas quando difundido a outras áreas é muito dependente das alterações e mudanças organizacionais e sociais. Segundo Freeman (1991), a nova tecnologia só fica estabelecida enquanto sistema tecnológico dominante após um longo período de gestação e competição com as tecnologias previamente dominantes.

Como já foi abordado anteriormente, um paradigma técnico-económico engloba as práticas mais rentáveis e mais bem-sucedidas no que diz respeito a escolha de inputs, métodos e tecnologias, em termos de estruturas organizacionais, modelos de negócio e estratégias. Assim, acabam por se tornarem em princípios e critérios implícitos na tomada de decisão, desenvolvem-se no processo de utilização de novas tecnologias, ultrapassam obstáculos e encontram procedimentos, rotinas e estruturas mais adequadas.

As rotinas e abordagens heurísticas emergentes são gradualmente incorporadas por engenheiros e gestores, investidores e banqueiros, força de vendas e marketing, empreendedores e consumidores, e com o passar do tempo, transformam-se numa lógica partilhada, num novo 'senso comum' que é aceite na tomada de decisões de investimento assim como nas escolhas dos consumidores. Neste seguimento, as ideias anteriores são esquecidas e substituídas pelas novas que se tornam 'normais', mantendo-se durante décadas como regime tecnológico instituído (Freeman, 1991).

É por isso possível, inferir que os ciclos longos e as 'ondas de destruição criadora' patentes na teoria de Schumpeter resultam da sucessão de paradigmas técnico-económicos, associados a um enquadramento característico institucional, que só se consolida depois de um processo profundo de mudança estrutural (Freeman et al., 1988).

### 2.4.1. Características dos paradigmas técnico-económicos

Para Schumpeter, uma inovação pode gerar outras inovações, justificando assim os avanços tecnológicos suportados em clusters de inovações. Estes clusters não estão restritos à indústria onde são originados, disseminando-se aos setores adjacentes que são atraídos pelas vantagens que estas inovações acarretam ao nível da estrutura de custos. Verifica-se assim uma captação de valores elevados de investimento atraído pelo crescimento rápido de um setor e a disseminação da nova tecnologia criada para outros setores da economia, resultando num crescimento da produtividade e no aparecimento de novos produtos (que representam o crescimento da onda de Kondratiev).

Alguns avanços tecnológicos são tão revolucionários, ou têm um impacto tão significativo em algumas áreas fundamentais da economia, que originam sistemas tecnológicos completamente inovadores, com capacidade transformativas nas condições estruturais vigentes da sociedade — os novos paradigmas técnico-económicos. Estes movimentos tecnológicos ocorrem com um intervalo periódico de várias décadas e baseiam-se num fator-chave específico que consiste num input, ou num conjunto de inputs, baseado numa matéria-prima essencial ao funcionamento da tecnologia e de difícil substituição. No entanto, a importância do sistema tecnológico para a economia no global e para a indústria no particular é que determina se um input pode ou não ser considerado como um fator-chave para um paradigma técnico-económico (Goransson et al., 2003).

A construção de um paradigma técnico-económico ocorre simultaneamente em três áreas principais:

1) Nas dinâmicas da estrutura de custos relativos dos inputs para produção, onde novos elementos '*low-cost*' e '*decreasing-cost*' aparecem e se tornam na escolha mais atrativa para inovações e investimentos lucrativos.

2) Nos espaços oportunos para a inovação, onde as oportunidades de empreendedorismo estão cada vez mais a ser traçadas para o desenvolvimento futuro das novas tecnologias ou para utilizá-las de forma vantajosa nos setores existentes.

3) Nos critérios e princípios organizacionais, onde a prática mostra o impacto positivo que se verifica a nível do incremento na performance de métodos e estruturas

particulares no que diz respeito a tirar vantagem do poder das novas tecnologias de forma a alcançar a eficiência e rentabilidade máxima.

Nas três áreas acima referidas, a emergência do paradigma depende do ritmo de difusão dos produtos revolucionários. Numa primeira fase, o impacto é localizado e de pequena dimensão, mas com o decorrer do tempo aumenta a sua abrangência. Os critérios associados ao paradigma são integrados e tornam-se indutores mas também filtros, na busca de inovações técnicas, estruturais e organizacionais, assim como nas decisões de negócio e nas decisões de compra dos consumidores. O processo acaba por ser reforçado à medida que a propagação e adoção das novas tecnologias confirmam na prática a sensatez dos princípios partilhados (Perez, 2010).

Durante o período de transição para um novo paradigma, correspondente à depressão na curva do ciclo económico, assiste-se a uma profunda reestruturação da economia que acarreta uma transformação igualmente profunda do contexto social e institucional. A tendência contínua de recessão indicia o crescente desajustamento entre o subsistema técnico-económico e o contexto socioinstitucional vigente. Verifica-se assim uma necessidade de reforma no comportamento social e institucional de modo a ocorrer o encaixe com os requerimentos e potencialidades da mudança de paradigma que decorre numa multiplicidade de áreas da esfera técnico-económica. Esta reforma surge como resultado de um processo de pesquisa, experimentação e adaptação de políticas. Quando se verificam as mudanças de comportamento adequadas, através de mudanças políticas e sociais, a nível nacional e internacional, inicia-se e desenvolve-se a fase de crescimento da onda do ciclo económico. Gera-se assim, um clima de confiança particularmente propício a um aumento do investimento que promove a implementação do novo paradigma (Freeman & Perez, 1988).

#### **2.4.2. Os cinco picos de desenvolvimento e os paradigmas técnico-económicos associados**

No final do século XVIII, iniciou-se na Inglaterra, o primeiro de cinco grandes picos de desenvolvimento (identificados até ao momento), impulsionados por sucessivas revoluções tecnológicas. Associado a cada uma destas revoluções tecnológicas está um cluster de novos inputs, produtos e indústrias, melhores

infraestruturas (ou em maior quantidade) que regularmente incorporam novos meios de transporte de bens, pessoas e informação, e fontes de energia alternativas ou diferentes formas de acesso à mesma.

A primeira revolução tecnológica, que se iniciou por volta de 1770s/80s, foi marcada pelo enorme potencial de inovação associado à mecanização da produção na indústria têxtil de algodão (ver Quadro 1). A mecanização do processo de fiação do algodão e o desenvolvimento do processo de tecelagem na indústria têxtil vieram colmatar as limitações de escala inerentes aos processos e ferramentas manuais que se utilizavam anteriormente. Este aumento de produtividade, eficiência e sobretudo de rentabilidade atraiu muitos recursos. Artesãos e outros indivíduos com algum poder económico adquiriram propriedades e incorporaram este tipo de tecnologias, verificando-se nesta época um aumento do número de empreendedores individuais e de pequenas organizações (<100 trabalhadores).

Em 1829, a introdução da máquina a vapor nos caminhos-de-ferro de Liverpool-Manchester, deu início à era do vapor e dos caminhos-de-ferro associada ao segundo grande pico de desenvolvimento (Perez, 2010). O aperfeiçoamento da utilização do vapor em termos de eficiência permitiu uma maior flexibilidade de atuação, uma vez que a localização já não estava dependente das áreas de extração de carvão, onde este era extremamente barato ou restringida aos locais de grande procura energética.

As lacunas do paradigma técnico-económico antecedente como a produção em escala, fiabilidade e leque de aplicações, que restringiam o alastramento do desenvolvimento da mecanização e da produção à economia como um todo, foram em grande parte ultrapassadas pelos mecanismos a vapor e pelo sistema de transporte (caminhos-de-ferro). Mas, por outro lado, estas atividades exigiam uma maior intensidade capitalística e, conseqüentemente, verificou-se uma crise competitiva das pequenas empresas. Por isso, ao longo deste segundo paradigma verificou-se um crescimento significativo na contratação de empregados por parte das grandes empresas.

Em 1880s/90s iniciou-se o que viria a ser denominado como a terceira revolução tecnológica. A aposta na indústria siderúrgica impulsionou em grande escala a engenharia pesada ('heavy engineering' — desenho e construção de equipamento e maquinaria de grandes dimensões). A disponibilidade, que se verificou nesta época em larga escala, do aço de baixo custo e de outras ligas metálicas veio suprir as lacunas

intrínsecas à utilização do ferro enquanto material de construção. As limitações associadas à inflexibilidade das correias, roldanas e outras peças de construção foram ultrapassadas pelo aparecimento de maquinaria elétrica (ferramentas elétricas) e de grandes dimensões (como guindastes). Este terceiro paradigma intensificou a necessidade de capital e da concentração de recursos iniciada no paradigma anterior gerando o aparecimento de grandes empresas que atuavam tipicamente em mercados monopolísticos e oligopolísticos e a concentração da atividade bancária e do capital financeiro.

As inovações que viriam dar origem à indústria automóvel surgidas ainda durante o terceiro paradigma iniciaram uma quarta revolução tecnológica. O sucesso do Modelo T, lançado por Henry Ford em 1908, exigia um novo modo de organização do processo produtivo capaz de produzir grandes quantidades de bens a preços acessíveis à generalidade da população. Iniciam-se, assim, as bases do que viria a ser o quarto paradigma técnico económico designado por paradigma Fordista. Neste paradigma, o novo modo de organização do processo produtivo baseado na produção em massa alarga-se progressivamente a outras indústrias de modo que nas décadas de 1930/1940 se encontra já estabelecido na economia: não só a indústria automóvel mas todas as atividades produtivas de bens de produção ou de bens de consumo se adaptaram a este novo paradigma.

O desenvolvimento do processo de produção através de uma linha de montagem de fluxo contínuo, capaz de produzir de forma eficiente um volume elevado de unidades idênticas, dissolveu as limitações de escala do paradigma anterior mas, por outro lado, exigia o redimensionamento das unidades produtivas, criando novos padrões na localização das indústrias. A realocação da indústria foi alterando a hierarquia urbana e regional, sendo o desenvolvimento urbano também facilitado pela maior rapidez e flexibilidade dos automóveis e do transporte aéreo.

O modelo organizacional característico deste paradigma consistia numa estrutura hierárquica de administração e gestão bem definida e complexa, que incluía um departamento de investigação e desenvolvimento interno. As organizações operavam tipicamente em mercados de oligopólio, nos quais as atividades de marketing e publicidade desempenhavam um papel fundamental.

Este quarto paradigma baseava-se no uso intensivo de recursos e de uma energia abundante e barata e pressupunha a existência de uma procura baseada em necessidades e preferências idênticas de grandes massas de consumidores. Todavia, no final da década de 1960 inúmeras vezes alertam para a possibilidade de esgotamento dos recursos não renováveis e para os aumentos significativos do seu custo que as crises petrolíferas da década de 1970 vieram reforçar (Meadows et al, 1972 e Pessoa, 2008). Estes receios bem como algumas mudanças na procura são os primeiros sinais da possibilidade de esgotamento deste paradigma.

Em 1971, a comercialização do microprocessador *Intel* inicia a era das tecnologias da informação e comunicação (TIC) que constitui o quinto pico de desenvolvimento tecnológico. Apoiado na maior disponibilidade e preços decrescentes da tecnologia microeletrónica, este paradigma vem contrariar as limitações de inflexibilidade e de deseconomias de escala associadas ao processo de produção em massa. O consumo intensivo de energia e materiais, subjacente às tecnologias antecedentes, foi assim parcialmente ultrapassado através dos sistemas e componentes de controlo eletrónico.

De facto, a revolução tecnológica da informação iniciou-se na década de 1970 com o sistema tecnológico suportado nos microprocessadores e noutros semi-condutores integrados. A este sistema tecnológico seguiram-se um conjunto de inovações radicais sobrepostas — minicomputadores e computadores pessoais, software, telecomunicações e a internet — que, individualmente, levaram ao surgimento de trajetórias de novos sistemas, mantendo no entanto uma forte relação e interdependência. Ao longo do seu surgimento, estes sistemas interconectaram-se e prolongaram a sua expansão conjunta, com retornos positivos tanto a nível tecnológico como de mercado (Perez, 2010).

A introdução da microelectrónica nos transportes e comunicações bem como nos processos de produção de bens e serviços possibilitaram novas formas de organização industrial. De facto, não só a introdução dos computadores na organização das empresas mas também o desenvolvimento de software adaptado a máquinas e processos produtivos permitiram uma maior diferenciação na produção de bens. Estas inovações, bem como a utilização das potencialidades de um grande capacidade de armazenamento

de dados, originaram novas formas de organização do processo produtivo e de satisfazer a procura.

A organização do processo produtivo ideal assente neste novo paradigma interliga as áreas de design, gestão, produção e marketing num único sistema. Este processo caracteriza-se assim por uma produção flexível e por um mix de produtos e serviços em constante mudança, adaptando-se às alterações da procura (Freeman & Perez, 1988).

Quanto ao princípio da flexibilidade, surge em contraste com o conceito de melhor prática vigente de produção em massa. Este princípio ganha força com a perceção de que elevados volumes de produtos idênticos não são o caminho para o alcance de níveis crescentes de produtividade, sendo necessário a aposta num conjunto diversificado de produtos com baixos volumes, isto porque as novas tecnologias contribuem para uma maior rentabilidade com a presença num maior número de mercados segmentados (Perez, 1985).

O Quadro 1 resume as principais características subjacentes a cada revolução tecnológica bem como a cronologia dos paradigmas definidos por Freeman e Perez (1988). Como é visível no quadro as mudanças de paradigma correspondem a alterações significativas não só na tecnologia mas também no tipo de atividades económicas predominantes. Como foi já referido estas alterações na esfera produtiva tiveram impacto significativo na forma de organização das empresas e até na mudança de atitudes e de hábitos de consumo. Todavia, enquanto na fase inicial do paradigma as mudanças são induzidas pelas inovações tecnológicas e reforçam o paradigma, a partir de certo momento elas começam a forçar a mudança de paradigma, abrindo-se, assim uma crise de ajustamento.

**Quadro 1.** Setores de atividade e principais características dos paradigmas técnico-económicos.

<b>Revolução Tecnológica</b>	<b>Período de tempo aproximado ('Upswing/Downswing')</b>	<b>Setores de crescimento induzido e infraestruturas</b>	<b>Indústrias inerentes ao fator-chave (elevada oferta a preços decrescentes)</b>	<b>Outros setores com rápido crescimento que partem de pequenas bases</b>
<b><u>Primeira</u></b> 'Revolução Industrial'	1770s/80s	- Têxtil - Químicos têxteis - Maquinaria têxtil	- Algodão - Ferro fundido	- Maquinaria a vapor
	1830s/40s	- Trabalhos de ferro forjado e fundição de ferro - Energia hidroelétrica - Olarias - Construção de canais e estradas		
<b><u>Segunda</u></b> 'Era do vapor e dos caminhos de ferro'	1830s/40s	- Maquinaria a vapor - Embarcações a vapor - Máquinas-Ferramentas - Ferro	- Carvão - Transportes	- Aço - Eletricidade - Gás - Corantes sintéticos - Maquinaria Pesada
	1880s/90s	- Equipamento ferroviário  - Linhas férreas - Navegação internacional		
<b><u>Terceira</u></b> 'Era do aço, eletricidade e maquinaria pesada'	1880s/90s	- Engenharia elétrica - Maquinaria elétrica - Cabos e fios	- Aço	- Automóveis - Aviões - Telecomunicações - Rádio - Alumínio - Consumíveis duráveis - Petróleo - Plástico
	1930s/40s	- Maquinaria pesada - Armamento pesado - Embarcações de aço - Químicos pesados - Corantes sintéticos - Fornecimento e distribuição elétrica		

**Quadro 1.** Setores de atividade e principais características dos paradigmas técnico-económicos (Continuação).

<b>Revolução Tecnológica</b>	<b>Período de tempo aproximado ('Upswing/Downswing')</b>	<b>Setores de crescimento induzido e infraestruturas</b>	<b>Indústrias inerentes ao fator-chave (elevada oferta a preços decrescentes)</b>	<b>Outros setores com rápido crescimento que partem de pequenas bases</b>
<b>Quarta</b> 'Era do petróleo, indústria automóvel e produção em massa'	1930s/40s	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automóveis</li> <li>- Camiões</li> <li>- Tratores</li> <li>- Tanques</li> </ul>	- Energia (Principalmente o petróleo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computadores</li> <li>- Radares</li> <li>- Máquinas NC (Controlo numérico)</li> <li>- Fármacos</li> <li>- Armamento e energia nuclear</li> <li>- Projéteis/Mísseis</li> <li>- Software de microeletrónica</li> </ul>
	1980s/90s	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Armamento para equipamento motorizado militar</li> <li>- Aviões</li> <li>- Consumíveis duráveis</li> <li>- Fábricas de processamento</li> <li>- Materiais sintéticos</li> <li>- Petroquímicos</li> </ul>		
<b>Quinta</b> 'Era da informação e das telecomunicações'	1980s/90s	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autoestradas</li> <li>- Aeroportos</li> <li>- Companhias Aéreas</li> </ul>	- Microeletrónica (Chips)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtos e processos de biotecnologia de 'terceira geração'</li> <li>- Atividades espaciais</li> <li>- Substâncias químicas nobres</li> </ul>
	?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computadores</li> <li>- Eletrónica</li> <li>- Software</li> <li>- Equipamento de telecomunicações</li> <li>- Fibra ótica</li> <li>- Robótica</li> <li>- FMS ('Functional Movement Systems')</li> <li>- Cerâmica</li> <li>- Armazenamento de dados</li> <li>- Serviços de informação</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rede de telecomunicações digitais</li> <li>- Satélites</li> </ul>		

Fonte: adaptado de (Freeman & Perez, 1988)

## **2.5 Crises de ajustamento associadas às mudanças de paradigma**

A difusão em larga escala pelo sistema económico de uma nova tecnologia envolve muito mais do que simples inovações incrementais ou o aumento da capacidade produtiva de alguns setores, tem um impacto em todos os setores da economia, no perfil de qualificações requeridas e na estrutura das reservas de capital de toda a economia. Por estas razões, segundo Freeman e Perez (1988), as mudanças estruturais e tecnológicas associadas às décadas de 1930 e de 1980 devem ser destacados e não podem ser comparados a pequenas recessões como foi o caso das verificadas, por exemplo, nas décadas de 1950 e de 1960.

Na fase de recuperação económica, no período que se seguiu à primeira guerra mundial, o regime tecnológico predominante apoiava-se sobretudo na utilização de petróleo de baixo-custo e noutros produtos fortemente consumidores de energia como os petroquímicos e sintéticos. Ao nível da fábrica, o modelo ideal de organização consistia numa linha de produção composta por um fluxo contínuo da linha de montagem capaz de produzir um elevado número de unidades idênticas.

Ao nível da empresa, o modelo vigente consistia num sistema de gestão bem definido e com a divisão clara de tarefas, assim como uma complexa hierarquia e estrutura administrativa. Incorporava uma componente de investigação e desenvolvimento interna e operava em oligopólios, atribuindo às atividades de marketing e publicidade uma importância significativa. A força de trabalho incluía um número elevado de operários e encarregados de qualificações intermédias, que resultava num padrão de distribuição de rendimentos e trabalho característico.

A expansão do mercado de consumo de produtos duradouros foi facilitada por este padrão, juntamente com as alterações que se verificaram ao nível social e pela adaptação do sistema financeiro que contribuiu para o crescimento da concessão de crédito aos consumidores. Este paradigma exigia uma série de infraestruturas, levando à construção de uma vasta rede de estradas, estações de serviço, aeroportos, sistemas de distribuição de petróleo e gasolina, tendo-se apoiado em investimento público em larga escala a partir de 1930 mas de forma mais expressiva no período pós-2ª guerra. As despesas civis e militares do governo tiveram uma importância fundamental na

estimulação de uma procura agregada e na definição de um padrão específico na procura de automóveis, armamento, materiais sintéticos e produtos petrolíferos.

Todavia, a partir da década de 1970, com a acessibilidade e disponibilidade de aparelhos de microeletrónica (com uma tendência para uma queda crescente no preço) e com os avanços na área das tecnologias computacionais e das telecomunicações, a utilização de energia fóssil intensiva, deixa de ser justificável ('senso comum') pelos custos elevados, surgindo, assim, a necessidade de alterar o regime tecnológico até então vigente e abrindo uma crise estrutural.

As crises estruturais associadas à mudança de um regime tecnológico contribuem para a instabilidade do comportamento de investimento. As indústrias que lideram o novo paradigma crescem tão rápido que tendem a ultrapassar os níveis de oferta de mão de obra qualificada disponíveis e a aumentar a capacidade produtiva, contribuindo para crises de excesso de capacidade devido à dificuldade de previsão do crescimento da procura. Outro fator que contribui para este clima de instabilidade na transição de um paradigma para o outro está assente na transformação tecnológica constante que torna rapidamente os produtos e equipamentos obsoletos. O crescimento da indústria informática durante as décadas de 70 e 80 do século XX foi uma época marcada por crises periódicas de excesso de oferta, ainda que de curta duração.

Os problemas nos setores económicos externos ao paradigma são ainda mais severos. Indústrias que estiveram no centro do paradigma ultrapassado sofrem uma desaceleração cada vez maior das taxas de crescimento ou até mesmo um declínio. Apresentam, em muitos casos, problemas de excesso de capacidade e racionalização que se prolongam, como foi o caso das indústrias de utilização intensiva de energia como a produção de ferro, petroquímica e fibras sintéticas nas décadas de 70 e 80. As mesmas dificuldades verificaram-se também na indústria ferroviária, têxtil e carvão durante as crises estruturais precedentes.

No que diz respeito aos setores de serviços, existem também problemas substanciais, apesar do potencial de crescimento associado a estas atividades, relacionados com a necessidade de alteração dos processos de produção vigentes, da gama de produtos, dos sistemas de gestão, das qualificações requeridas para a força de trabalho e do marketing, de forma a adaptarem-se ao novo paradigma técnico-económico instituído. É por isso um processo bastante complexo de ajustamento, que

requer uma revolução cultural e uma necessidade de reequipamento por parte das indústrias.

As principais fontes de instabilidade que deram origem à recessão da década de 1930 verificam-se nos dias de hoje, ainda que num formato diferente, nomeadamente a situação da dívida externa, os desequilíbrios extremos nos pagamentos internacionais, debilidades nos níveis dos preços agrícolas, instabilidade das taxas de câmbio. A resposta desigual às oportunidades e ameaças procedentes das tecnologias de informação por parte de governos, empresas e indústrias tendem a acentuar as desigualdades do processo de desenvolvimento.

As mudanças de paradigma técnico-económico têm vindo tipicamente a ser associadas a transformações internacionais na divisão do trabalho e na liderança tecnológica internacional. Os incumbentes na indústria estão frequentemente mais aptos para adotarem as inovações sociais e institucionais que surgem do que as estruturas já bem estabelecidas dos líderes já consolidados no mercado. Isto pode implicar, que países líderes como Estados Unidos ou Inglaterra podem ser prejudicados pelo seu sucesso precoce. No entanto, países com défices nos níveis de educação e qualificação da população, défices de gestão e de investimento em investigação e desenvolvimento partem de um grau de desvantagem na competição internacional ainda mais significativo. Pode-se assim inferir que as alterações de paradigma podem estar associadas ao agravamento temporário dos problemas de instabilidade em relação ao fluxo de investimento internacional (Freeman & Perez, 1988).

## 3. Indústria 4.0

### 3.1. Origem do conceito

A Indústria é parte integrante de uma economia, caracterizada pela produção mecanizada e automatizada de bens materiais. Os avanços tecnológicos que ocorreram ao longo das últimas décadas levaram a mudanças que afetaram a dinâmica económica, mudanças essas denominadas posteriormente de "revoluções industriais": no campo da mecanização, a transformação dos processos manuais em processos mecânicos (a denominada 1ª Revolução Industrial); a intensificação da utilização da energia elétrica e a divisão do trabalho (2ª Revolução Industrial); a introdução dos primeiros PLC's (Programmable logic controllers) para uma maior automação na indústria e mais recentemente o aparecimento do computador digital (3ª Revolução Industrial). Estes avanços na tecnologia são causa e, também, consequência do desenvolvimento económico visível em aumentos significativos da oferta e da procura de bens industriais. Mas, paralelamente à inovação tecnológica, existiram alterações significativas nas estruturas organizacionais subjacentes à produção industrial de forma a dar resposta às variações do mercado.

A crescente procura de produtos customizados aliada a ciclos de vida do produto cada vez mais curtos, exige transformações cada vez mais profundas nas estruturas organizacionais. Os sistemas distribuídos têm a capacidade de lidar com esta complexidade crescente e representam assim o ponto inicial para a gestão cibernética que incorpora sistemas de controlo autónomos, sendo a Internet um instrumento poderoso na gestão destes sistemas distribuídos e no processo de controlo ao longo da cadeia de valor (Brettel et al., 2014).

Aliando ao facto de ter uma das indústrias mais desenvolvidas e *high-tech* (detendo muitas das fábricas e empresas mais sofisticadas), a concessão por parte do governo de dois dos três fundos de I&D ao desenvolvimento industrial, a Alemanha vem assistindo a um rápido desenvolvimento e crescimento de tecnologia industrial. Por isso, não é de estranhar que as principais ideias associadas aos processos conducentes a uma quarta fase de industrialização surjam ligadas a autores e instituições desse país. Elas foram primeiramente publicadas por Henning Kagermann em 2011 (Kagermann,

2011), tendo sido usadas como base para a construção do manifesto publicado em 2013 pela *German National Academy of Science and Engineering* (Stock et al., 2016).

A expressão Indústria 4.0 começou então a ser utilizada para designar uma quarta fase de industrialização baseada em produtos e processos resultantes das mudanças tecnológicas mais recentes. No relatório desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute* em parceria com a associação industrial *Bitkom* consta a afirmação de que o valor bruto da produção alemão pode vir a ser impulsionado por 267 bilhões de euros cumulativos até ao ano de 2025, após a introdução da Indústria 4.0 (Lee et al., 2014).

Mas esta evolução rumo à indústria 4.0 não se verifica apenas na Alemanha. Pelo contrário, muitos outros países têm manifestado uma crescente preocupação, com a necessidade de preparação para esta nova era de transformação na produção industrial. É o caso, por exemplo, da China que publicou em 2015, um plano de desenvolvimento industrial apontando nessa direção — *Made in China 2025* (Qin et al., 2016).

Também em Portugal se tem procurado avançar rumo à indústria 4.0. Não só empresas e organizações empresariais têm promovido ações conducentes a esta quarta fase de industrialização (COTEC, 2017) como também se têm implementado algumas medidas de política nesse sentido. Entre essas medidas, encontra-se um incentivo não reembolsável de apoio a PMEs (Pequenas e Médias Empresas), chamado Vale Indústria 4.0, cujo objetivo é “promover a transformação digital de PMEs através da adoção de tecnologias que permitam mudanças disruptivas nos seus modelos de negócio” (Compete2020, 2017).

### **3.2. Principais inovações**

Esta quarta fase de industrialização baseia-se numa crescente integração de software e de *embedded intelligence* nos produtos e sistemas industriais globais (Lee et al., 2014) e apoia-se em *cyber-physical systems* e na inovação de serviços. Os *cyber-physical systems* (CPS) são unidades de controlo, que controlam os sensores e atuadores necessários à interação com as estruturas físicas, com capacidade para processarem os dados obtidos. Estes sistemas incorporados necessitam de uma interface comunicacional para troca de dados com outros sistemas incorporados ou com uma

*cloud*. No fundo, são sistemas incorporados dotados de uma capacidade para troca de dados e informação através de uma rede virtual (Jazdi, 2014).

Com a incorporação deste tipo de tecnologias, os produtos têm vindo a complexificarem-se e a tornarem-se sistemas que combinam hardware, sensores, armazenamento de dados, microprocessadores, software e conectividade. Os *smart connected products* (SCP) desencadearam uma nova era na competição entre empresas, através de melhorias de processamento, miniaturização dos dispositivos e benefícios de rede de conectividade wireless. Abrem um leque de oportunidades de novas funcionalidades, de maior fiabilidade, de maior utilidade e capacidade, atravessando as barreiras do conceito anterior de produto.

Os SCP são compostos por três elementos base: uma componente física (inclui os elementos mecânicos e elétricos), uma componente inteligente (compreende elementos como sensores, microprocessadores, armazenamento de dados, software, e tipicamente, um sistema operativo) e uma componente de conectividade. As componentes inteligentes ampliam as capacidades e o valor das componentes físicas, sendo que a conectividade amplifica as capacidades e valor dessas componentes inteligentes e permite que algumas existam para além do produto em si. O resultado é um ciclo virtuoso de incremento de valor (Porter et al., 2014).

Estas inovações que se verificam ao nível do produto têm de ser acompanhadas por alterações significativas das infraestruturas das empresas industriais. As denominadas fábricas inteligentes (SF — *Smart factories*) consistem em unidades económicas simultaneamente de produção e de distribuição cujo núcleo central é a troca de informação e de dados entre as diferentes partes envolvidas no processo de fabrico, sendo que estes dados podem representar informação do ponto de situação da produção, do comportamento de consumo de energia, ou até pedidos/feedback por parte dos clientes ou fornecedores.

Deste modo, a próxima geração de fábricas inteligentes poderá ter uma maior capacidade de adaptação, quase em tempo real, às exigências em constante mudança dos mercados, opções tecnológicas e regulamentos. No fundo, as SF estarão aptas para oferecer *smart connected products and services*, que uma vez conectados à internet, capacitarão a estrutura para a recolha e posterior análise dos dados recebidos provenientes da utilização desses produtos. Isto permite às empresas a definição mais

eficaz do comportamento e das necessidades dos seus clientes, podendo incorporar essa informação no desenvolvimento de novos produtos e serviços (Shrouf et al., 2014).

Com os desenvolvimentos e transformações, físicas e conceptuais dos produtos e serviços, verifica-se uma necessidade de reestruturação, não só das infraestruturas como foi mencionado anteriormente, mas também de toda a cadeia de valor e respetivos procedimentos e processos. Estratégias como desenvolvimento do produto, marketing e vendas, produção e serviço pós-venda terão de ser repensados de forma a adaptarem-se a esta nova realidade (Porter et al., 2016).

### **3.3. Implicações da Indústria 4.0 nas cadeias de valor e na estruturação da indústria**

Atualmente, com a integração dos CPS nos produtos e com o desenvolvimento de infraestruturas inteligentes assiste-se a uma transformação do próprio processo de criação de valor, assim como da natureza da competição.

No modelo da cadeia de valor tradicional o processo de desenvolvimento do produto desenrola-se à medida que as empresas se focam no lançamento periódico dos produtos. Com a reestruturação da cadeia, o design de produtos torna-se mais interativo e a gama oferecida é aperfeiçoada de forma contínua, o produto pode ser melhorado e podem inclusive ser-lhe acrescentadas funcionalidades através do software incorporado no próprio produto. Com os dados recolhidos através da utilização destes produtos, verifica-se ainda a necessidade de uma transformação nos processos de marketing e vendas que deve passar pela inclusão da informação na segmentação da carteira de clientes e customização de produtos, estabelecendo a ponte para um diálogo aberto e corrente entre empresas e consumidores.

No processo de produção, a incorporação de tecnologia conectiva nas máquinas, com interligação constante entre as mesmas e com os produtos em desenvolvimento, obriga a uma reformulação de toda a infraestrutura da fábrica tradicional, automatizando e otimizando a produção. Desta forma, verifica-se um incremento na eficiência e uma redução de avarias e anomalias. Ao nível dos serviços pós-venda, o impacto das tecnologias incorporadas nos produtos está assente na viabilização dos serviços de

entrega de forma remota e na previsão de avarias do produto (manutenção preditiva) (Porter & Heppelmann, 2016).

A era da indústria 4.0, afeta a cadeia de valor mas também a estrutura da própria indústria, através da influência transformativa na natureza da competitividade. A competitividade é analisada através de um modelo de cinco forças, que avalia o poder negocial dos clientes, rivalidade da indústria, ameaça de novos entrantes, ameaça de substitutos e poder negocial dos fornecedores. Ocorre a alteração da estrutura industrial quando algum fator, como por exemplo a introdução de novas tecnologias ou a transformação nas necessidades dos consumidores, tenha impacto nestas cinco forças competitivas.

Os produtos com incorporação de tecnologia, os SCP, expandem as oportunidades de diferenciação, como já foi mencionado anteriormente, e aliando também a este fator, a aplicação da informação da utilização dos produtos recolhida no desenvolvimento de uma oferta cada vez mais personalizada, afastam a competitividade-preço entre empresas e possibilitam uma maior captura de valor com a definição deste fator.

Com as novas capacidades dos produtos inteligentes, a dependência de parcerias com empresas de distribuição ou de serviços é também menor e com tendência de diminuição ao longo do tempo, o que possibilita uma maior margem de lucro para a empresa produtora. Todos estes fatores contribuem para a redução do poder negocial dos consumidores, no entanto com a entrada nesta nova era de industrialização, podem surgir também efeitos que potenciem esta força competitiva. A obtenção e disposição de informação de uso dos produtos fornece aos consumidores um melhor conhecimento da verdadeira performance destes, permitindo-lhes fazer uma escolha e comparação mais consciente face à restante oferta existente no mercado. O acesso ao histórico de dados de utilização do produto pode ainda implicar reduções nos custos de mudança de fornecedor, afetando positivamente o poder negocial dos clientes.

No que diz respeito à rivalidade da indústria, os SCP contribuem para que esta força também se distancie do fator preço, uma vez que esta produção de gama inteligente tem impacto na estrutura de custos das empresas, através da contribuição para um aumento dos custos fixos e uma redução dos custos variáveis. Isto explica-se por um aumento significativos dos custos iniciais, nomeadamente custos de

desenvolvimento de *software*, complexificação do design de produto e custos fixos elevados de equipamentos tecnológicos — incluem componentes de conectividade seguras, armazenamento de dados, componentes de análise e segurança. Vai ocorrer assim uma tendência para o distanciamento da rivalidade competitiva de preços, uma vez que as indústrias que apresentam custos fixos elevados apresentam vulnerabilidades a pressões deste tipo, tentando na maioria dos casos, diluir estes custos com a venda de um número elevado de unidades.

O alargamento do âmbito dos produtos, e a preocupação crescente por parte das empresas em acrescentar novas capacidades à sua oferta, pode ainda gerar neste sentido, uma disputa desmedida entre concorrentes que acaba por fazer escalar o custo e erodir o lucro da indústria. Outro fator adicional que pode contribuir para o aumento da rivalidade da indústria está relacionado com a integração dos produtos inteligentes em sistemas de produtos complexos, fazendo com que empresas que não eram concorrentes diretos entrem em competição (por exemplo, produtores de iluminação e produtores de equipamento de entretenimento audiovisual, num contexto de sistema da 'casa inteligente' que integra e acrescenta inteligência a uma grande variedade de aparelhos domésticos).

Os custos fixos elevados associados à construção de infraestruturas preparadas com tecnologia de conectividade e a ligação à instalação da tecnologia a ser incorporada nos próprios produtos e ao design de produtos mais complexo, representam obstáculos para os novos entrantes na indústria. Com a vantagem de *first-mover* dos incumbentes, as barreiras de entrada podem elevar-se significativamente, uma vez que estando já inseridos na indústria podem recolher e armazenar dados de utilização dos seus produtos, incorporando essa informação em melhorias de produtos ou serviços e para uma redefinição do serviço pós-venda. No entanto as barreiras à entrada podem diminuir no caso dos incumbentes não se adaptarem à mudança e se fixarem na proteção do seu esquema de obtenção de lucro tradicional baseado em hardware, abrindo a porta assim aos novos entrantes.

Com o alargamento das competências dos produtos, criam-se também novos tipos de ameaça de substitutos, isto porque com um produto inteligente é possível substituir um conjunto de produtos que de outra forma não eram substitutos (por

exemplo o têxtil de desporto com tecnologia incorporada que substitui os relógios, pedómetros e outros aparelhos individuais).

Os SCP estão a revolucionar ainda as relações com os fornecedores e a redistribuir o poder negocial. Com o foco de criação de valor posto nas componentes de conectividade e software, verifica-se uma menor importância das componentes físicas, apresentando uma tendência para a substituição destas por software com o passar do tempo. A utilização de tecnologia incorporada nos produtos reduz ainda a necessidade de componentes físicas adaptadas/personalizadas e conseqüentemente a variedade destas componentes, diminuindo assim a importância do fornecedor tradicional e do seu poder negocial. Surgem no entanto necessidades de novos fornecedores, nomeadamente fornecedores de sensores, software, conectividade, sistemas operativos integrados, etc., que frequentemente apresentam grande poder na indústria em que estão inseridos (por exemplo a Google, a Apple e AT&T) podendo contribuir para um crescimento no poder negocial dos fornecedores, permitindo-lhes captar uma maior percentagem do valor da venda do produto e reduzir a margem de lucro do produtor (Porter & Heppelmann, 2014).

Na era da indústria 4.0, assistimos assim ao desvio do core da competição, da funcionalidade de um produto para a performance de um sistema de produtos conectados e de múltiplas aplicações. A oferta consiste por isso em pacotes de equipamentos e serviços interligados, com impacto positivo na otimização dos resultados globais. As fronteiras da indústria indicam uma tendência de expansão para além dos sistemas de produtos, com o aparecimento dos sistemas de sistemas, que englobam sistemas de produtos diferentes com informação externa relacionada que pode ser coordenada e otimizada, culminando em edifícios inteligentes, casas inteligentes ou até mesmo cidades inteligentes (Mohelska et al., 2016).

## 4. Será a Indústria 4.0 um novo paradigma técnico-económico?

O aspeto mais distintivo da indústria 4.0 está na combinação da produção otimizada industrial com as tecnologias de ponta associadas ao campo da internet. Esta combinação resulta de importantes inovações verificadas tanto na esfera da produção como no domínio da informação e comunicação e pode estar associada a crescimentos disruptivos na produção semelhantes aos já verificados anteriormente, as revoluções tecnológicas e consequentes mudanças de paradigmas técnico-económicos. Tal como nas disrupções precedentes, a mudança de paradigma é originada não por uma única tecnologia mas pela interação de uma multiplicidade de avanços tecnológicos.

O facto da indústria 4.0 se basear na interligação de uma diversidade de tecnologias não impede que se destaquem dentre estas o *'mobile computing'* (informática móvel), *'cloud-computing'* (computação em nuvem) e *'Big Data'* (armazenamento e processamento de um volume elevado de dados). A importância do *cloud-computing* e *mobile computing* possibilitados pelo desenvolvimento de uma capacidade computacional crescente, permite sobretudo o fornecimento de serviços que podem ser acedidos globalmente via internet.

Também, os serviços de apoio podem ser facilmente integrados e utilizados, sendo que esta facilidade de integração dos serviços promove a integração de parcerias ao longo de toda a cadeia de valor. Mas a computação em nuvem é, também, a base para novos processos e modelos de negócio. Os produtos integrados num sistema de *cloud-computing* podem fornecer dados que permitem a execução de uma manutenção preditiva e informação de oportunidades de otimização da produção.

Antes do surgimento das tecnologias de *'cloud-computing'* e da internet, existia uma recolha de dados durante o processo de produção. No entanto, estes dados eram mantidos nesse mesmo sistema, uma vez que, devido à falta de capacidade de armazenamento acabavam por ser apagados. Atualmente, o uso de uma rede tecnológica integrada e da integração de produtos numa base de dados online possibilita um maior alcance no campo do armazenamento de dados, ficando assim disponível uma corrente contínua de informação ao invés de informação restrita a determinados intervalos de

tempo. Este fator afeta a capacidade de otimização da produção através de uma análise contínua e fomenta nas indústrias o desenvolvimento e utilização de análises preditivas (Schmidt et al., 2015).

O quadro 2 mostra que informática móvel, computação em nuvem e *Big Data* estão associados a alguns dos setores mais dinâmicos atualmente. Muitos destes setores tiveram origem (Computadores, CPS, Nuvem) ou desenvolveram-se acentuadamente durante o paradigma das TIC e, portanto, importa saber se esta evolução em direção à Indústria 4.0 é uma continuação do paradigma iniciado na década de 1980 ou se se trata de um paradigma novo.

## Quadro 2. Indústria 4.0: Definição das principais características.

Paradigma Técnico-Económico	Período de tempo aproximado ('Upswing/Downswing')	Setores de crescimento induzido e infraestruturas	Indústrias inerentes ao fator-chave (elevada oferta a preços decrescentes)	Organização das firmas e formas de cooperação e competição
<b>Indústria 4.0</b>	2010s/20s - ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eletrónica</li> <li>- Computadores</li> <li>- Transportes</li> <li>- Distribuição</li> <li>- Equipamento Médico</li> <li>- Automóvel (Segurança e assistência)</li> <li>- Aeronáutica</li> <li>- Produção de energia renovável</li> <li>- Armazenamento de dados</li> <li>- 'Communication Interface'/Cloud</li> <li>- Redes digitais</li> <li>- 'Radio networks'</li> <li>- Satélites</li> </ul>	Cyber-Physical Systems (Software e Componentes físicas: sensores, microcontroladores e processadores) Big data	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descentralização da tomada de decisão</li> <li>- Maior autonomia da força de trabalho e necessidade de um nível superior nas qualificações da mesma</li> <li>- Criação de novos modelos de negócios (modelo de 'produto-como-serviço')</li> </ul>

Fonte: elaboração própria.

Um paradigma técnico-económico é um conjunto de práticas bem sucedidas e rentáveis em termos de escolha de inputs, métodos e tecnologias, mas também no que diz respeito a estruturas organizacionais, modelos de negócio e estratégias. Para compreender se as mudanças tecnológicas acima referidas que estão na origem da chamada Indústria 4.0 correspondem a um novo paradigma importa verificar se essas alterações tecnológicas respeitam os critérios identificados por Perez (2010): alteração

da estrutura de custos, percepção de espaços de oportunidades e surgimento de novos modelos organizativos.

#### 4.1 Estrutura de custos

Quanto à alteração da estrutura de custos, um elemento crucial na articulação de uma 'constelação revolucionária' é o aparecimento de um fator-chave que é barato e com tendência decrescente de preço, inesgotável num futuro previsível, com uma ampla abrangência de aplicações e capaz de afetar positivamente a produção (Perez, 2010).

No caso da indústria 4.0, a sobreposição de vários desenvolvimentos tecnológicos que afetam produtos e serviços está assente nos *cyber-physical systems* (fator-chave) e na *embedded technology* que representam a fusão da área do digital com os fluxos de trabalho físicos, complementando as etapas do processo físico de produção com processos de suporte informático. A redução que se tem vindo a verificar em termos de tamanho, peso, consumo energético e custos, tem vindo a potenciar significativamente a utilização de *embedded technology* (como por exemplo etiquetas de RFID) nas várias etapas da produção, desde as máquinas até aos produtos, assim como a diminuição no custo e crescente capacidade de armazenamento de informação (Atzori et al., 2010).

A integração dos *cyber-physical systems* nas infraestruturas produtivas (*smart factories*) permite a monitorização do sistema produtivo e a recolha dos dados da performance em tempo real, permitindo desta forma a existência de uma manutenção pró-ativa. Assim, através de componentes, como por exemplo, os sensores que fazem o controlo da temperatura podem ser implementadas ações preventivas a serem tomadas quando esta se desvia da amplitude recomendada, prevenindo uma futura avaria. O mesmo cenário aplicar-se-ia no caso de um consumo energético anormal ou noutra irregularidade detetada em qualquer outra componente do sistema produtivo, sendo assim possível uma poupança de energia, uma redução do desperdício em produtos defeituosos e uma maior prevenção de avarias e anomalias nas máquinas.

A informação proveniente das máquinas de produção e dos próprios produtos, que garante à fábrica esta capacidade de "auto-manutenção" e "autoconfiguração", contribui para uma quase inexistência de interrupções no fluxo produtivo e para um

planeamento de otimização de produção ao nível dos planos de gestão de inventário, permitindo uma reação rápida a mudanças inesperadas que alteram os custos produtivos e afetam a eficiência, como carências/défices de matéria-prima e estrangulamentos de capacidade (Shrouf et al., 2014).

## 4.2 Perceção de espaços de oportunidade

A segunda forma na qual o paradigma indica a melhor direção para a angariação de investimento e inovação é através da perceção de espaços de oportunidades rentáveis. Estes espaços são mais facilmente identificados há medida que as novas tecnologias se difundem. O dinamismo da inovação nestes espaços de oportunidades é acionado internamente e as indústrias que contribuem para este acionamento são potenciadas. Esta evolução das empresas cria constantemente novos espaços de inovação aos restantes setores da economia, devido ao carácter genérico e de ampla aplicabilidade das tecnologias subjacentes a estes paradigmas. As infraestruturas são as tecnologias genéricas mais óbvias em termos de abrangência, seguidas pela utilização de novos tipos de materiais e equipamentos com capacidade para penetrar o contexto operacional de grande parte das indústrias (Perez, 2010).

Em termos de infraestruturas e equipamentos, o impacto da integração num conceito de indústria 4.0 é inegável. Com a aplicação de tecnologias de informação, *big data* e *cloud-computing*, complementadas com tecnologias de inteligência artificial, a indústria 4.0 tem capacidade para revolucionar completamente a estrutura das fábricas, de forma a dar resposta à crescente necessidade de alcance de processos industriais altamente flexíveis e eficientes, com consumos energéticos e custos baixos. Neste conceito, as *smart machines*, o transporte e os produtos comunicam entre si de forma a desempenharem uma auto reconfiguração e a garantirem uma produção flexível de uma multiplicidade de produtos. Recolhe-se um volume elevado de dados provenientes dos objetos incorporados com tecnologia inteligente através de uma rede industrial, que posteriormente os envia para a *cloud*. Isto permite a existência de um feedback abrangente a todo o sistema e uma coordenação baseada em análise de dados que otimiza a performance do sistema (Wang et al., 2016). Este tipo de tecnologias cumpre o critério de abrangência de aplicabilidade, verificando-se um enorme potencial para a

sua utilização e disseminação a todos ou a grande parte dos setores integrantes da economia.

### **4.3 Novos modelos organizativos**

À medida que as novas tecnologias são incorporadas, realiza-se uma transformação do trabalho e dos padrões de consumo, mas sobretudo da organização das fábricas e dos negócios. A prática e uso regular das novas tecnologias e a relação resultante com as novas condições de mercado, contribui para a definição de novos modelos organizacionais, que se tornam nas práticas "normais" para o alcance de eficiência e eficácia na organização.

Um paradigma técnico-económico resulta de um conjunto de processos de aprendizagem articulados num modelo mental dinâmico das melhores práticas económicas, tecnológicas e organizacionais para o período em que uma revolução tecnológica específica começa a ser incorporada no sistema económico e social. As direções de mudança, práticas e perceções partilhadas que compõem o paradigma técnico-económico permitem o alcance de uma eficiência e rentabilidade máxima e a sua consequente difusão fornece um conhecimento generalizado entre os diferentes agentes e participantes económicos, desde os produtores até aos consumidores (Perez, 2010).

A crescente complexidade organizacional na produção associada ao conceito de indústria 4.0 irá influenciar a tomada de decisão, contribuindo para a sua descentralização. Desta forma as entidades descentralizadas, que beneficiam de uma maior autonomia, integram a informação local no processo de tomada de decisão, ficando esta entregue aos trabalhadores ou aos equipamentos através da utilização de métodos do campo da inteligência artificial (Stock & Seliger, 2016). O objetivo em termos de liderança consiste assim, na delegação de autoridade durante as etapas do processo produtivo aos funcionários, e organizar a divisão de tarefas de forma a otimizar este processo de decisão. Neste seguimento, surgem assim oportunidades para os trabalhadores serem mais autónomos e usufruírem de uma maior liberdade no controlo do seu trabalho, mas exige também um nível de qualificações superior (Bauer et al., 2015).

A integração na indústria 4.0 implica o investimento em novas tecnologias e qualificações e novos processos ao longo da cadeia de valor. As empresas de produção tradicionalmente vinham a focar-se apenas na produção de um bem físico e a recolher conseqüentemente o seu valor, através da transferência do direito de posse do bem aquando da transação de venda. A introdução de tecnologias inteligentes nos produtos fomenta uma alteração significativa do modelo de negócio.

Através da informação recolhida pelo uso dos produtos, o produtor tem a capacidade para antecipar, reduzir e reparar falhas e influenciar a performance do produto e otimizar o serviço. Esta realidade culmina no surgimento de novos modelos de negócio para captura de valor, desde o modelo tradicional de posse até ao modelo de 'produto-como-serviço', no qual o produtor retém a posse e assume os custos de manutenção do produto em troca de uma cobrança periódica (Porter & Heppelmann, 2014).

Considerando que a Indústria 4.0 parece atuar nas três áreas responsáveis pela definição de um paradigma técnico-económico citadas por Perez (2010) e, tendo em conta a abrangência das tecnologias em questão aos restantes setores da economia, assim como a influência na cadeia de valor e na competitividade das indústrias (abordado na secção 3.3), poder-se-á inferir a aplicação da definição de novo paradigma técnico-económico ao conceito.

## 5. Pistas para investigação futura

Depois do impacto da *world wide web* e da acessibilidade móvel universal, o aparecimento dos *cyber-physical systems* e da *internet of things* representam um enorme potencial disruptivo. Como foi concluído na secção anterior, a indústria 4.0 representa uma mudança do paradigma técnico-económico vigente. Todavia, esta conclusão foi resultado de uma análise baseada na escassa bibliografia existente, surgindo a necessidade, de forma a dar seguimento a este estudo, de aprofundar a questão do ponto de vista empírico. Importa então verificar se a diminuição da atividade económica, verificada nos finais da década de 2000, foi efetivamente uma crise de ajustamento entre paradigmas e se a seguir a essa crise de ajustamento se verificou um aumento significativo no investimento e no crescimento económico, como ocorreu em paradigmas anteriores.

Definiram-se ao longo do tempo, cinco sistemas marcados por um agente revolucionário importante (atua como um 'big-bang' tecnológico), que abre um novo universo de oportunidades de inovações rentáveis, tal como foi o caso do microprocessador *Intel* que deu o mote para o início da 5ª revolução tecnológica. Existem dois fatores que permitem a distinção de uma revolução tecnológica, de um conjunto de sistemas de inovações aleatórias e que justificam a conceptualização da mesma com o termo revolução:

1. A existência de uma forte interconexão e interdependência das tecnologias e dos mercados dos sistemas integrantes;
2. A capacidade de transformação dos setores da economia (e eventualmente da sociedade) (Perez, 2010).

A aplicação dos CPS e de outra *embedded technology*, aliada ao poder da IoT, tem a capacidade de influenciar diferentes setores da economia devido à abrangência dos sistemas de tecnologias associados. Além disso, origina novos modelos de negócio, altera a forma como o trabalho é realizado, afeta o processo de produção e respetivas infraestruturas e, também, a forma como se encaram os produtos e serviços, tanto de uma perspetiva de oferta como de procura. O paradigma técnico-económico subjacente à indústria 4.0 parece cumprir assim, todos os requisitos para ser classificado enquanto

revolução tecnológica, no entanto inquiridos a empresas e a consumidores poderiam confirmar estes aspetos e dar maior credibilidade à conclusão deste estudo.

A natureza dos sistemas de tecnologias associados a este novo paradigma técnico-económico, está associada à mesma área de atuação da revolução tecnológica da informação, estando apoiada, ainda que a um nível bastante mais complexo, na evolução de tecnologias subjacentes a esta 5ª revolução, como é o caso dos microprocessadores e da internet. Existe ainda uma partilha de alguns princípios comuns entre o paradigma da indústria 4.0 e a revolução tecnológica da informação, nomeadamente o foco na informação e a flexibilidade. No que diz respeito ao foco na informação, Perez (1985) refere no seu artigo sobre o paradigma da microeletrónica (subjacente à 5ª revolução tecnológica), que esta característica com consequências resultantes bastante profundas, derivadas do foco intensivo na informação ao invés do foco na utilização intensiva de energia e materiais, tem um impacto bastante visível na estrutura de custos geral com a utilização da microeletrónica e das telecomunicações digitais. Isto devido às vantagens crescentes que derivam da diminuição de custos deste tipo de tecnologias e do potencial crescente de aplicação. Este é, também um aspeto que a investigação futura poderá ajudar a esclarecer.

De uma maneira superficial poder-se-ia inferir que tendo em conta os fatores mencionados anteriormente, o novo paradigma técnico-económico da indústria 4.0 tratar-se-ia de um aprofundamento da 5ª revolução tecnológica. No entanto, devido ao impacto significativo do paradigma em questão, e dos seus sistemas de tecnologias associados, na economia e na sociedade, abordados anteriormente, não parece prudente descartar a hipótese de que possa tratar-se do paradigma que estará na origem de uma nova revolução tecnológica. Perez (2002) mencionou que cada revolução tecnológica implicou a substituição em massa de um conjunto de tecnologias ou a modernização dos equipamentos existentes, processos e formas de operação, verificando-se ainda em todas alterações profundas nas pessoas, organizações e qualificações.

Um aprofundamento do estudo desta questão, necessário para a obtenção de uma resposta melhor sustentada, baseada numa análise empírica e numa pesquisa de bibliografia surgida entretanto, revelar-se-ia bastante interessante como base para uma investigação futura.

## 6. Conclusão

Nos últimos anos tem vindo a intensificar-se a necessidade de adaptação da indústria ao crescente dinamismo dos mercados e aos desafios decorrentes do processo de inovação, particularmente no que diz respeito a uma maior eficiência energética e de recursos e crescente complexificação dos produtos com um incremento na incorporação de tecnologia, software e serviços. A combinação de produtos personalizados e tecnicamente sofisticados com ciclos de inovação decrescentes, impelem as empresas a demonstrarem um elevado nível de dinamismo, flexibilidade e a adotarem estratégias orientadas para o consumidor. Assim, o desafio passa por encontrar o equilíbrio entre a otimização dos padrões de qualidade, a rapidez na entrega dos produtos e a estratégia de competitividade do preço (Bauer et al., 2015).

Neste seguimento, verifica-se uma grande expectativa inerente aos sistemas tecnológicos subjacentes ao conceito da indústria 4.0 e aos seus efeitos na economia. Aliando a esta expectativa, a falta de um volume considerável de estudos sobre a área, principalmente associados à esfera económico (devido ao estado embrionário em que a maioria dos países se encontra no desenvolvimento face a este novo conceito), verificou-se a relevância de perceber se de facto estamos perante uma mudança de paradigma, como muitos autores já afirmam. Neste sentido, com base na pesquisa extensiva de bibliografia relevante na área das teorias económicas associadas à inovação e à tecnologia e nos estudos existentes intrínsecos ao tema da indústria 4.0 e das suas características, elaborou-se uma proposta da resposta à questão levantada: 'Será a Indústria 4.0 um paradigma técnico-económico?'

Como resultado deste estudo, chegou-se à conclusão de que a indústria 4.0 cumpre os requisitos para se enquadrar na taxonomia de novo paradigma técnico-económico, uma vez que, segundo Perez (2010), para um fenómeno tecnológico se classificar nesta definição necessita de cumprir três critérios que passam pela alteração da estrutura de custos, perceção de espaços de oportunidade e surgimento de novos modelos organizacionais. Neste seguimento, a indústria 4.0 impacta a estrutura de custos, uma vez que a tecnologia associada a este conceito apresenta uma tendência decrescente do peso, tamanho, consumo energético e sobretudo do custo, potenciando a sua utilização. O maior controlo de todo o processo de produção associado à utilização

destes sistemas tecnológicos, permite ainda uma maior prevenção de avarias, eficiência energética e de materiais superior e uma maior rapidez e eficácia na reação a eventuais alterações logísticas que possam surgir em termos produtivos.

Os espaços de perceção de oportunidades rentáveis indicam a melhor forma de angariação de investimento e inovação. Estes espaços são mais facilmente identificados à medida que as tecnologias são difundidas, devido ao seu carácter genérico e de ampla aplicabilidade. A aplicação destes sistemas tecnológicos, como é o caso da indústria 4.0, tem a capacidade de inovar infraestruturas fabris, produtos e respetivo processo produtivo, dando resposta à crescente necessidade de flexibilidade e eficiência.

A introdução de tecnologias inteligentes na produção afeta a tomada de decisão, contribuindo para a sua descentralização e alterando os modelos organizacionais vigentes até ao momento. Verifica-se assim, uma maior autonomia das diversas entidades envolvidas no processo e a integração de informação local na tomada de decisão.

Tendo verificado na presente dissertação a associação da definição de paradigma técnico-económico ao conceito de indústria 4.0, e de forma a dar seguimento ao presente estudo, revelar-se-ia interessante um aprofundamento futuro da pesquisa de forma a concluir de modo empiricamente mais robusto se as mudanças tecnológicas associadas àquele conceito são apenas a normal evolução da revolução tecnológica da informação e comunicação ou se constituem como o agente revolucionário responsável pelo surgimento de uma nova revolução.

## Referências bibliográficas

- Aghion, P. e P. Howitt, (1992), "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, Vol. (2), pp. 323-51.
- Aghion, P. e P. Howitt (1998), *Endogenous Growth Theory*, Cambridge: MIT Press.
- Andersen, E. (1994). Evolutionary economics post-Schumpeterian contributions. *Pinter, London*.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., & Vocke, C. (2015). Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0”. *Procedia Manufacturing*, 3(Supplement C), 417-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.200>
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, Decentralization and Network Building Change the manufacturing Landscape: An industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37-44.
- Compete2020. (2017). Vale Indústria 4.0. from [http://www.poci-compete2020.pt/concursos/detalhe/AAC\\_19-SI-2017](http://www.poci-compete2020.pt/concursos/detalhe/AAC_19-SI-2017)
- COTEC. (2017). i4.0 Indústria 4.0. from <https://www.industria4-0.cotec.pt/>
- E.Commission. (2015). The Factories of the Future. from [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/factories-of-the-future\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html)
- Fagerberg, J. (2003). Schumpeter and the revival of evolutionary economics: an appraisal of the literature. *Journal of Evolutionary Economics*, 13(2), 125-159. doi: 10.1007/s00191-003-0144-1
- Freeman, C. (1991). Innovation, Changes of Techno-Economic Paradigm and Biological Analogies in Economics. *Revue économique*, 42(2), 211-232.
- Freeman, C., & Perez, C. (1988). Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour. In G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson & G. Silversberg (Eds.), *Technical Change and Economic Theory* (pp. 38-66): Pinter Publishers.

- Goransson, B., & Soderberg, J. (2003). Long waves and information technologies - on the transition towards the information society. *Technovation*, 25, 203-211.
- Grant, R. M. (2002). *Contemporary Strategy Analysis: Concepts, Techniques, Applications* (fourth ed.): Blackwell Publishing.
- Helpman, E. (1993). *Innovation, Imitation, and Intellectual Property Rights* (Vol. 61). *Econometrica*.
- Hodgson, G. (1993). *Economics and evolution: bringing life back into economics* Polity Press, Cambridge.
- Jazdi, N. (2014). Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0. In L. Miclea & I. Stoian (Eds.), *2014 Ieee International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. New York: Ieee.
- Kagermann, H., Lukas W., Wahlster W. (2011). Industrie 4.0 - Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*(13).
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Research Letters*, 3, 18-23.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. H. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. In H. ElMaraghy (Ed.), *Product Services Systems and Value Creation: Proceedings of the 6th Cirp Conference on Industrial Product-Service Systems* (Vol. 16, pp. 3-8). Amsterdam: Elsevier Science Bv.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The limits to growth. *New York*, 102, 27.
- Mohelska, H., & Sokolova, M. (2016). Smart, connected products change a company's business strategy orientation. *Applied Economics*, 48(47), 4502-4509. doi: 10.1080/00036846.2016.1158924
- Perez, C. (1985). MICROELECTRONICS, LONG WAVES AND WORLD STRUCTURAL-CHANGE - NEW PERSPECTIVES FOR DEVELOPING-COUNTRIES. *World Development*, 13, 441-463. doi: 10.1016/0305-750x(85)90140-8

- Perez, C. (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*: Edward Elgar.
- Perez, C. (2007). Great Surges of development and alternative forms of globalization. *The other Canon Foundation and Tallinn University of technology working papers in technology governance and economic Dynamics*, 15, 32.
- Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185-202. doi: 10.1093/cje/bep051
- Pessoa, A. (2005). “Ideas” driven growth: the OECD evidence. *Portuguese Economic Journal*, 4(1), 46-67.
- Pessoa, A. (2008). Do the Malthusian fears ever die? A note on the recent increase in food prices. *Economics Bulletin*, 17(22), 1-11.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64-+.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2016). How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. *Harvard Business Review*, 94(1-2), 24-24.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. In A. Nassehi & S. Newman (Eds.), *Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production* (Vol. 52, pp. 173-178). Amsterdam: Elsevier Science Bv.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. In W. Abramowicz (Ed.), *Business Information Systems: 18th International Conference, BIS 2015, Poznań, Poland, June 24-26, 2015, Proceedings* (pp. 16-27). Cham: Springer International Publishing.
- Schumpeter, J. (1934). *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest and the business cycle* (Vol. 46). Harvard Economic Studies: Harvard College.

Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). *Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm* Politecnico di Milano

Universidad Politécnica de Madrid.

Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. In G. Seliger, H. Kohl & J. Mallon (Eds.), *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use* (Vol. 40, pp. 536-541). Amsterdam: Elsevier Science Bv.

Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101(Supplement C), 158-168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>