



CATÓLICA
CATÓLICA PORTO BUSINESS SCHOOL

PORTO

A quarta revolução industrial no setor metalomecânico português

Luís Maria Soares Borges Lima Moreira



CATÓLICA
CATÓLICA PORTO BUSINESS SCHOOL

PORTO

A quarta revolução industrial no setor metalomecânico português

Trabalho Final na modalidade de Dissertação
apresentado à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de mestre em Business and Economics

por

Luís Maria Soares Borges Lima Moreira

Sob orientação de

Professor Doutor Leonardo Costa

Católica Porto Business School

Abril de 2019

Agradecimentos

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Leonardo Costa, pela orientação que me deu na elaboração desta dissertação de mestrado.

Agradeço também ao CATIM, nas pessoas do Engenheiro Hildebrando Vasconcelos e do Doutor Nuno Araújo, pela proposta do tema e colaboração na discussão e aplicação do questionário desenvolvido.

Por último, agradeço aos meus pais, não só pelo apoio nestes últimos seis meses, mas pelo apoio dado durante todo o meu percurso académico, percurso que concluo com a presente dissertação de mestrado.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo medir a quarta revolução industrial/transformação digital no setor metalomecânico português. Para o efeito, tendo por base os indicadores desenvolvidos pelo *Digital Transformation Scoreboard* 2017 da Comissão Europeia e as propriedades do indicador compósito que constitui o *Multidimensional Poverty Index*, criamos três indicadores compósitos para medir a transformação digital do setor. Dois dos indicadores medem fatores facilitadores da transformação digital da indústria - o Indicador sobre as Infraestruturas Digitais (IID) e o Indicador sobre as Competências Digitais da Força Laboral (ICDFL) – e o terceiro mede a integração da tecnologia digital na indústria - o Indicador sobre a Integração da Tecnologia Digital (IITD). Os resultados do questionário conduzido às empresas do setor clientes do CATIM mostram que estas empresas têm as infraestruturas digitais necessárias para a implementação da quarta revolução industrial, estão menos bem no que refere às competências digitais da sua força laboral e claramente pior no que refere à integração da tecnologia digital. Para a amostra como um todo, [IID; ICDFL; IITD] = [0,820; 0,580; 0,225]. Dos cinco grupos de empresas identificados como tendo uma maior integração da tecnologia digital, dois destacam-se por cima nos três indicadores considerados: o grupo de empresas com um volume de negócios igual ou superior a 50 milhões, [IID; ICFL; IITD] = [0,925; 0,700; 0,773] e o grupo de empresas da CAE 29 (fabrico de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis), [IID; ICFL; IITD] = [0,925; 0,650; 0,587].

Palavras-Chaves: Quarta revolução industrial; Transformação digital; Setor Metalomecânico e Portugal

Abstract

This dissertation aims to measure the fourth industrial revolution/digital transformation in the Portuguese metal-mechanic sector. To this end, based on the indicators developed by the European Commission's Digital Transformation Scoreboard 2017 and the properties of the composite indicator that constitutes the Multidimensional Poverty Index, we have created three composite indicators to measure the digital transformation of the sector. Two of the indicators measure factors facilitating the digital transformation of industry - the Digital Infrastructure Indicator (IID) and the Labor Force Digital Competency Indicator (ICDFL) - and the third measures the integration of digital technology in industry - the Indicator on the Integration of Digital Technology (IITD). The results of the questionnaire to CATIM's client sector companies show that these companies have the digital infrastructures necessary for the implementation of the fourth industrial revolution, are less well on the digital competencies of their workforce and clearly worse on integration of digital technology. For the sample as a whole, [IID; ICDFL; IITD] = [0.820; 0.580; 0.225]. Of the five groups of companies identified as having a greater integration of digital technology, two stand out in the three indicators considered: the group of companies with a turnover of 50 million or more, [IID; ICFL; IITD] = [0.925; 0.700; 0,773] and the group of companies of CAE 29 (manufacture of motor vehicles, trailers, semi-trailers and components for motor vehicles), [IID; ICFL; IITD] = [0.925; 0.650; 0.587].

Keywords: Fourth industrial revolution; Digital transformation; Metal-mechanic sector & Portugal

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Índice de Anexos	vii
Capítulo 1 - Introdução.....	1
Capítulo 2 - Revisão de literatura	5
2.1. A quarta revolução industrial.....	5
2.1.1. Sobre a quarta revolução industrial	5
2.1.2. A <i>Internet of Things (IoTs)</i>	9
2.1.2.1. O que é e qual o seu propósito?	9
2.1.2.2. Componentes, tecnologia e dinâmica.....	10
2.1.3. O <i>Big Data</i>	13
2.1.3.1. O percurso da informação.....	14
2.1.4. <i>Cyber-Physical Systems</i>	17
2.1.5. <i>Smart Factories</i>	19
2.1.5.1. A instituição da descentralização como fator facilitador	20
2.1.5.2. Aplicações da inteligência nas fábricas	22
2.1.5.3. Não há um modo único de emprego da quarta revolução industrial ...	23
2.2. Cadeia de Valor Global (CVG)	25
2.2.1. Tipos de relação nas CVGs	26
2.2.2. As relações nas CVGs e os princípios da indústria 4.0.....	29
2.3. Indicadores parciais e compósitos.....	31
2.3.1. <i>Digital Transformation Scoreboard 2017</i>	31
2.3.2. O índice de pobreza multidimensional	35
Capítulo 3 - O Modelo Empírico	37
3.1. Dimensões e indicadores parciais	37
3.2. Indicadores parciais de infraestrutura digital	38
3.3. Indicadores parciais de competências digitais da força laboral	40

3.4. Indicadores parciais da integração da tecnologia digital	42
3.5. Método utilizado para identificar as relações na cadeia de valor	48
3.6. Indicadores compósitos ao nível da empresa.....	50
3.7. Análise de regressão.....	53
3.8. Indicadores compósitos para grupos de empresas.....	53
3.9. O questionário e a sua aplicação	54
Capítulo 4 – Resultados e discussão	56
4.1. Representatividade da amostra	56
4.2. Descrição da amostra	57
4.3. Indicadores parciais e compósitos da quarta revolução industrial.....	61
4.4. Análise de regressão.....	65
4.5. Indicadores compósitos para grupos de empresas.....	68
Capítulo 5 – Conclusão.....	73
Bibliografia	75

Índice de Figuras

Figura 1 – Distribuição do universo e da amostra por CAE	57
Figura 2 – Distribuição de idades pela amostra.....	58
Figura 3 – Distribuição do volume de negócios pela amostra.....	58
Figura 4 – Distribuição do número de colaboradores pela amostra.....	59
Figura 5 – Distribuição da dimensão pela amostra	60
Figura 6 – Distribuição das relações na cadeia de valor	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Estrutura dos índices do DTS 2017	34
Tabela 2 – Estrutura do MPI.	36
Tabela 3 – Exemplo da chave dicotômica para as relações das CVGs.....	49
Tabela 4 – Pontuações nos indicadores parciais	51
Tabela 5 – Cálculo do IIDi, ICDFLi e IITDi para as empresas A, B e C.....	52
Tabela 6 – Valores médios do IIDi, do ICDFLi e do IITDi calculados para as empresas A, B e C.....	52
Tabela 7 – Scores médios dos indicadores parciais	62
Tabela 8 – Resultados médios dos indicadores compósitos ao nível da empresa	62
Tabela 9 – Resultados da regressão	67
Tabela 10 – Resultados IID para grupos de empresas	69
Tabela 11 - Resultados ICDFL para grupos de empresas.....	71
Tabela 12 - Resultados IITD para grupos de empresas	72

Índice de Anexos

Anexo I – Questionário.....	75
Anexo II – Lista das CAEs do Universo e Amostra.....	78

Capítulo 1 - Introdução

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo proceder a uma primeira avaliação da transformação digital/quarta revolução industrial no setor metalomecânico em Portugal. O tema da dissertação foi proposto pelo Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (CATIM) à Católica Porto Business School (CPBS).

Para responder ao objetivo, foi estabelecida uma parceria entre a CPBS e o CATIM que permitiu a elaboração e aplicação de um questionário às empresas do setor, clientes do CATIM. O ponto de partida para a construção do questionário foi o “*Digital Transformation Scoreboard 2017*” (DTS) da Comissão Europeia. O DTS 2017 contém indicadores parciais e compósitos para a monitorização da transformação digital dos Estados Membros. O principal desafio foi adaptar os referidos indicadores, que se referem a países, às empresas inquiridas, empresas que, na sua maioria, são PME. Com esse intuito, os indicadores parciais e compósitos de transformação digital desenvolvidos nesta dissertação têm propriedades matemáticas semelhantes às do índice multidimensional de pobreza (MPI) da Organização das Nações Unidas. O questionário desenvolvido e os referidos indicadores permitem medir o grau de transformação digital do universo de empresas inquiridas, comparar empresas e grupos de empresas e entender de que forma a integração da tecnologia digital é afetada pelas características das referidas empresas.

Ao contrário das revoluções industriais anteriores, que foram *fait accompli*, a quarta revolução industrial foi, aparentemente, detetada antes de acontecer, sendo que ainda se encontra em fase de desenvolvimento e de implementação nos vários países do mundo. O primeiro passo para a sua implementação passa por informatizar as empresas e as fábricas através de tecnologias que já existem e posteriormente estabelecer uma comunicação entre as mesmas. Também por esta razão adotou-se a terminologia europeia mais consensual para referir a quarta revolução industrial que é a “transformação digital”.

Ao longo da dissertação, a quarta revolução industrial é exposta como uma nova organização tecnológica das empresas, que passa por integrar tecnologias e conceitos que já existem e estão, ao mesmo tempo, a ser desenvolvidos no sentido de cumprirem ainda melhor o propósito que lhes é atribuído nesta nova organização. Em termos práticos, a referida nova organização tecnológica das empresas abrange quatro conceitos fundamentais: a *Internet of Things (IoTs)*, o *Big Data/Data Analytics*, os *Cyber-Physical Systems (CPSs)* e as *Smart Factories/Smart Manufacturing*. Integrados, estes conceitos, conseguem contextualizar e elevar a informação a um nível superior de qualidade. A respetiva implementação na indústria permitirá descentralizar a tomada de decisão para máquinas com capacidades superiores aos humanos. Das referidas máquinas espera-se a capacidade de superar os desafios que a indústria enfrenta nos dias de hoje. Estes desafios passam pela necessidade de as empresas adquirirem flexibilidade e capacidade de darem respostas rápidas em todos os processos e atividades pelas quais são responsáveis e, em simultâneo, aumentarem o desempenho de forma a manterem-se competitivas.

O Banco de Portugal (BP) segmenta a indústria metalomecânica em “Metalúrgicas de Base”, “Produtos Metálicos e Elétricos” e “Equipamentos de Transporte”. Dados do BP referentes a 2015 mostram que o setor é dominado pelas chamadas microempresas, ou seja, empresas que têm menos de 10 colaboradores e menos de 2 milhões de euros em volume de negócios. No entanto é um setor de peso no panorama nacional, pois representa 2% do número de empresas, 7% do volume de negócios e 6% do número de pessoas que trabalham em empresas portuguesas.^[1,2]

O comércio internacional tem grande valor para o setor. As exportações representavam, em 2015, 68% do volume de negócios do setor e desde 2011 até 2015 este peso aumentou 8 pontos percentuais. Conforme é referido pelo Banco de Portugal (BdP), as empresas exportadoras são as que têm a maior parcela do volume de

¹Banco de Portugal. (2015). Análise setorial da indústria metalomecânica. Estudos da Central de Balanços. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/estudos%20da%20cb%2020_2015.pdf

²Banco de Portugal. (2017). Análise setorial da indústria metalomecânica 2011-2016. Nota de Informação Estatística. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/documentos-relacionados/nie_estudo_20_2015.pdf

negócios e de pessoas ao serviço do setor, 83% e 69%, respetivamente, o que mostra bem a sua importância. ^[3,4]

Em termos de crescimento, o número de empresas em 2012, 2013 e 2014 diminuiu, o que significa que houve mais empresas a desaparecer do que as que foram criadas, sendo que no ano de 2015 a situação inverteu-se, por cada empresa que desapareceu uma outra foi criada. A taxa de crescimento do volume de negócios em 2015 foi de 5%, tendo sofrido um aumento de 3 pontos percentuais em relação a 2014, e nesse ano encontrou-se ao nível da taxa de crescimento de 2011. Em 2012 e 2013 a taxa de crescimento do volume de negócios foi negativa. ^[5,6] O setor foi afetado pela intervenção da *troika* no país, sendo que em 2015 já estava a recuperar.

Mazzucato & Perez veem na inovação o fator chave para o crescimento económico. Para o efeito é necessário haver políticas de inovação que permitam investimentos de longo prazo em atividades produtivas.⁷ A transformação digital pode ser vista como uma solução ou até mesmo uma exigência para a competitividade do setor. Economias mais desenvolvidas, como a Alemanha e os Estados Unidos da América, e economias emergentes, como a China, já estão a realizar esforços, em conjunto com as empresas nacionais, através de programas bem fundados, para desenvolver e implementar a transformação digital. Esta última também pode aumentar ou ajudar a manter as exportações, uma vez que é caracterizada por um nível elevado de coordenação e colaboração ao longo das cadeias de valor, aumentando a proximidade e dependência das empresas que a integram.⁸

³Banco de Portugal. (2015). Análise setorial da indústria metalomecânica. Estudos da Central de Balanços. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/estudos%20da%20cb%2020_2015.pdf

⁴Banco de Portugal. (2017). Análise setorial da indústria metalomecânica 2011-2016. Nota de Informação Estatística. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/documentos-relacionados/nie_estudo_20_2015.pdf

⁵Banco de Portugal. (2015). Análise setorial da indústria metalomecânica. Estudos da Central de Balanços. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/estudos%20da%20cb%2020_2015.pdf

⁶Banco de Portugal. (2017). Análise setorial da indústria metalomecânica 2011-2016. Nota de Informação Estatística. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/documentos-relacionados/nie_estudo_20_2015.pdf

⁷Mazzucato, M., & Perez, C. (2014). *Innovation as Growth Policy: the challenge for Europe*. SPRU Working Paper Series. University of Sussex.

⁸Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

A dissertação desenvolve-se do seguinte modo. Após o presente capítulo introdutório, no capítulo 2 procede-se a uma revisão de literatura sobre a transformação digital, onde se explica em que é que esta consiste e quais as suas vantagens ao nível industrial. Ainda no capítulo 2 procede-se a uma breve revisão de literatura sobre as cadeias de valor globais (CVGs), onde se apresenta um *framework* para distinguir os tipos de relações que as empresas têm nas CVGs. Conclui-se este capítulo com a revisão de literatura sobre os indicadores utilizados para construir os indicadores desenvolvidos nesta dissertação. Segue-se o capítulo 3, onde se apresenta e fundamenta a metodologia utilizada, o inquérito elaborado e os índices desenvolvidos. No quarto capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados. Por último, o capítulo 5 das conclusões, onde os principais resultados obtidos na dissertação são sumariados.

Capítulo 2 - Revisão de literatura

2.1. A quarta revolução industrial

2.1.1. Sobre a quarta revolução industrial

É a quarta vez na história do mundo moderno que uma tecnologia ou um conjunto de tecnologias ameaça abalar o mundo de uma forma que muda por inteiro as suas estruturas sociais e económicas. No entanto, raramente as tecnologias são obras do acaso. Por norma, resultam do esforço humano em encontrar soluções para problemas. Neste aspeto, a quarta revolução industrial ou transformação digital da indústria não é diferente das revoluções industriais anteriores. É, todavia, diferente noutro aspeto. Ao contrário das revoluções industriais anteriores, a quarta revolução industrial foi pensada antes de ocorrer.⁹ Isto significa que atualmente existe uma visão e uma ideologia sobre o conceito, que passa pelo reconhecimento dos seus objetivos e possíveis formas de os alcançar. Mas ao mesmo tempo implica também, que, na prática a sua implementação ainda não seja plena, quer em termos da sua abrangência, quer ao nível tecnológico.

A indústria moderna enfrenta novos desafios. A procura tem-se tornado cada vez mais volátil. Os ciclos de vida dos produtos têm diminuído constantemente, fruto da alteração das expectativas dos consumidores e da globalização. O aumento da oferta, causado pela globalização, aumentou a competição entre as empresas, quer pela diminuição das distâncias relativas (que aproximou empresas de mercados geograficamente distantes), quer pela exploração de vantagens geográficas (através do aumento da facilidade em alocar o capital, as empresas para se tornarem mais competitivas, empregam os seus recursos nos países que lhes oferecem mais vantagens). Hoje em dia, para as empresas manterem a competitividade têm, cada vez

⁹Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

mais, de diferenciar os seus produtos e/ou ir mais além na satisfação das necessidades individuais dos consumidores dos seus produtos. Para responder a este desafio, é importante que as empresas se tornem mais flexíveis e que tenham capacidade de responder mais rápido às alterações de mercado. ^[10,11]

A quarta revolução industrial ou transformação digital da indústria é a solução tecnológica que responde à necessidade das organizações de se tornarem mais flexíveis e responsivas. A mesma é concebida através da integração de tecnologias modernas que dão origem a grandes redes de comunicação de informação que permitem a instituição de estruturas organizacionais flexíveis, inteligentes e descentralizadas.¹² A presente revolução tecnológica é o resultado do esforço feito por governos e empresas em inovar as suas indústrias, para que estas consigam responder aos desafios atípicos que caracterizam o comércio no século XXI. A sua principal característica passa pela mudança do controlo dos processos de produção de formas centralizadas para formas descentralizadas. A tecnologia permite que haja comunicação entre as pessoas, as máquinas e os produtos, de tal forma, que os produtos sabem o seu estado atual de produção e o seu estado final, conseguindo orientar-se ao longo da cadeia de produção, interagindo com as máquinas comunicando-lhes que tarefas têm de executar e comunicando aos transportadores qual a próxima etapa de produção.¹³ Esta dinâmica é conseguida ao substituir ou ao transformar as fábricas tradicionais em fábricas inteligentes (*Smart Factories*). As fábricas inteligentes são uma infraestrutura chave da quarta revolução industrial, correspondendo ao espaço físico onde a revolução é materializada. São um conjunto de sistemas integrados que comunicam entre si, de forma transparente, e que orientam as pessoas e as máquinas no desempenho das suas tarefas, com a ajuda de sensores.

¹⁰Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018) *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14

¹¹Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

¹²Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018) *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14

¹³Kagermann, H., (2015) *Change through Digitalization – Value in the Age of Industry 4.0*. Management of Permanent Change.

As fábricas inteligentes superam o uso exclusivo da força humana ao conseguirem responder em tempo real à volatilidade da procura, às exigências dos consumidores e à alteração das circunstâncias das cadeias de valor em que as empresas se inserem.¹⁴ As fábricas inteligentes são caracterizadas por serem capazes de lidar com fluxos perfeitos de informação o que lhes permite que se ajustem consoante as diferentes necessidades.¹⁵

A informação é o recurso que permite que a mudança de paradigma aconteça. Foram as evoluções recentes da informação que deram o impulso para a sua exploração e conseqüente introdução na indústria. O aumento da quantidade de dados recolhidos e os avanços das tecnologias de informação permitiram elevar a qualidade da informação a um novo nível. O cruzamento de um maior número de dados permite complementar informações de diversas fontes resultando em operadores e máquinas melhor informados. ^[16, 17] No fundo a revolução corrente é caracterizada por uma melhor exploração da informação e a sua conseqüente introdução nas cadeias de valor e produção das indústrias. O primeiro passo para ter acesso à informação é a recolha de dados. É necessário que haja forma de extrair dados do mundo físico e é preciso que seja uma quantidade de dados grande para que a informação seja completa. Este papel é maioritariamente atribuído à *Internet of Things (IoTs)*. A *IoTs* é o conceito tecnológico através do qual a integração de diferentes tecnologias promove a distribuição massiva de informação. A ambição deste conceito é que qualquer objeto esteja automaticamente ligado à internet dando origem a uma rede de objetos que comunicam entre si.¹⁸ A comunicação entre objetos ligados pela *IoTs* permite que informação de diferentes ambientes e fontes esteja disponível para ser tida em conta

¹⁴Chien C., Hong, T. & Guo, H., (2017) *An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower Industry 3.5*. Journal of the Chinese Institute of Engineers.

¹⁵Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018) *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14

¹⁶Addo-Tenkorang, R. & Helo, P. T., (2016) *Big Data applications in operations/supply-chain management: A literature review*. Computers and Industrial Engineering.

¹⁷Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

¹⁸López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

na tomada de decisão, de objetos, pessoas ou máquinas.¹⁹ Estes fluxos de informação possibilitam que as componentes envolvidas nos processos industriais atuem dinamicamente sobre alterações no estado dos objetos.^[20,21]

A recolha de informação por parte da *IoT*s origina constantemente um enorme volume de dados que é conhecido por *Big Data*. Este conceito pode ser definido como os conjuntos massivos de dados agregados de diversas fontes que contêm informação útil à sua interpretação. A informação contida é revelada através da aplicação de poder computacional a estes conjuntos de dados cuja responsabilidade é atribuída à disciplina de *Data Analytics*.²²

O desafio seguinte é usar a informação recolhida e revelada na fábrica. Para isso é necessário haver uma tecnologia que permita incorporar essa informação nas máquinas. Esta função é cumprida por meio dos *Cyber-Physical Systems (CPSs)* que são computadores que estão integrados em rede e que monitorizam e controlam os processos físicos.²³ Ou seja, os *CPSs* são um conjunto de sistemas que guiam as máquinas, ordenando-lhes o que devem fazer consoante a informação que têm. Esta tecnologia suplanta os seres humanos na capacidade de processamento de informação que permite. Os programadores podem desenhar estes sistemas com algoritmos para que os façam agir como um ser humano agiria em presença da mesma informação. No entanto, com muito mais informação e com informação que sofreu um escrutínio mais eficaz do que qualquer ser humano seria capaz de fazer diretamente. Os *CPSs* afetam as máquinas, mas as máquinas também afetam os sistemas integrados através de *feedback* que os sistemas usam para tomar as decisões seguintes.²⁴

¹⁹Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

²⁰López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

²¹Addo-Tenkorang, R. & Helo, P. T., (2016) *Big Data applications in operations/supply-chain management: A literature review*. Computers and Industrial Engineering.

²²De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

²³Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

²⁴Monostori, L., (2014) *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems.

A aplicação e integração da *IoTs*, *Big Data/Data Analytics* e *CPSs* nas fábricas tradicionais dão origem às fábricas inteligentes (*Smart Factories*) que são fábricas que possuem e integram nos seus processos conhecimentos dos seus clientes, dos seus parceiros e do público em geral. Sendo fábricas que estão preparadas para trabalhar e responder em ambientes em que a procura é dinâmica, tendo em conta, em tempo real, as preocupações que advêm das diferentes partes da cadeia de produção e da cadeia de valor. A informação também aumenta o desempenho das fábricas porque aumenta o entendimento, a razão, o planeamento e a gestão de todos os seus processos.²⁵

Feito este enquadramento sobre a quarta revolução industrial, abordamos em seguida, com mais profundidade, os quatro conceitos tecnológicos fulcrais ao seu entendimento: a *Internet of Things (IoTs)*, o *Big Data*, os *Cyber-Physical Systems (CPSs)* e as *Smart Factories/Smart Manufacturing*.

2.1.2. A *Internet of Things (IoTs)*

2.1.2.1. O que é e qual o seu propósito?

O grupo de trabalho alemão sobre a Indústria 4.0 considera a *IoTs* um fator chave à conceção dos *Cyber-Physical Systems*: "...só será possível assegurar o futuro da indústria alemã se todas as partes interessadas mais importantes se juntarem para explorar o potencial oferecido pela *Internet of Things and Services*".²⁶

A *IoTs* é um conceito tecnológico que ambiciona conectar os objetos à internet através da tecnologia, sendo que pretende que a informação sobre objetos e pessoas seja enviada através da internet para posteriormente ser processada e distribuída através de plataformas como bases de dados, ferramentas de análise e redes computadorizadas.

²⁵Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

²⁶Kagermann, H., Wallster, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

A sinergia entre a *IoT*s e as ferramentas de armazenamento e tratamento de dados cria uma conexão entre todos os objetos que permite otimizar o seu desempenho. Este último é baseado em mais e melhor informação que resulta desta mesma conexão entre objetos que estão inseridos em ambientes diferentes, mas que têm impacto nos propósitos uns dos outros.²⁷ A título de exemplo, considere-se o sistema central de uma casa “inteligente” que tem como função manter uma determinada temperatura na casa, visando fazer uma gestão eficiente da energia. Se este estiver conectado à *IoT*s pode receber a informação de objetos que estão fora de casa a medir a temperatura, abrindo as persianas quando está mais calor fora da casa e fechando-as quando está mais frio, diminuindo, desta forma, o consumo energético destinado ao aquecimento da casa.

A conexão das fábricas à *IoT*s é uma das etapas que permite que estas se tornem inteligentes. Em termos simples, o objetivo último é tornar a produção autónoma. A *IoT*s irá permitir que haja informação suficiente sobre os objetos envolvidos na produção, para que plataformas de processamento a distribuam entre as máquinas, pessoas e objetos, possibilitando aos *Smart Products* que estes se orientem a si próprios, durante o processo produtivo, comunicando às máquinas as tarefas que estas necessitam de desempenhar e aos transportadores qual a próxima etapa, de acordo com as necessidades mais recentes.²⁸

2.1.2.2. Componentes, tecnologia e dinâmica

A tecnologia que permite a materialização da *IoT*s consiste, em primeiro lugar, em equipamentos que permitam a identificação dos objetos. Esta função é atualmente atribuída à tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID), que permite a identificação de objetos através de etiquetas. A RFID incorpora informação que é

²⁷López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

²⁸Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

transmitida à rede que gere o sistema. Todavia, a identificação por RFID não constitui informação suficiente para a *IoTs*. São necessários também sensores para monitorizarem e transmitirem o estado dos objetos. A seguir, são precisas plataformas que juntem, processem e distribuam estes dados. Um pré-requisito essencial destas plataformas é o serem padronizadas, ou seja, é necessário que o modo de processar e difundir a informação seja igual em todas as plataformas, de forma a ser possível a verdadeira integração do máximo de objetos numa rede de internet. Atualmente, já há programas, até com tecnologias criadas que permitem o tratamento dos dados, contudo, sofrem da falta de integração entre si.²⁹

A *IoTs* transforma os objetos em objetos inteligentes, aumenta-lhes as capacidades ao permitir que estes recebam, de outros objetos, e enviem, para outros objetos, informações coletadas através dos seus sensores, fluxos de informação que lhes permitem tomar decisões autonomamente.³⁰

O aumento das capacidades dos objetos é feito através da incorporação de aparelhos de comunicação em rede sem fios, que vão permitir identificarem-se, saberem o seu estado ou de outros objetos e criarem uma interface que facilite a comunicação dos dados. Estes aparelhos, entre si, vão criar uma rede que gere os recursos e a captura de dados. Estes aparelhos são *wireless sensor networks* (WSN) e têm identificações padrão únicas que estão sempre junto dos aparelhos.³¹

A comunicação em rede é feita através de apenas um aparelho, que se designa de *cluster head*. O *cluster head* é o aparelho que é eleito pelos outros aparelhos do *cluster* para arrecadar a informação de todos os sensores e enviar para a plataforma da *IoT*. A abordagem permite o aumento do tempo de funcionamento da rede, evitando que os aparelhos do *cluster* gastem energia a comunicarem para a rede individualmente. O papel de *cluster head* é rotativo, uma vez que consome muita energia. Quando um

²⁹López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

³⁰López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

³¹López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

aparelho não está em condições de ser o comunicador, um processo de eleição com determinadas diretrizes é feito e um outro aparelho assume esta função.

A formação de *clusters* é uma característica muito importante destas redes. Os objetos só vão poder comunicar entre si se partilharem um contexto (*o do cluster*). Isto torna as redes lógicas e a informação organizada. Neste sentido há investigação que está a ser desenvolvida como a integração de métodos de contextualização nos algoritmos de formação de *clusters*.³² O cuidado com a integração da informação nos grupos em que esta é mais relevante vai ao encontro do princípio da transparência da informação que introduzimos mais à frente no tópico das *Smart Factories*, sendo este método uma forma de o alcançar.³³

Quanto à infraestrutura da informação, é necessário que esta permita a sua gestão e distribuição de forma flexível e eficiente. Assim, os fluxos de informação sobre o estado dos objetos vão ser carregados numa rede virtual (*smart object network repository*) dentro da infraestrutura. A rede vai permitir aos utilizadores saber quais os objetos que pertencem a um mesmo *cluster* e as relações com outros objetos e sensores. Em relação à dinâmica dos fluxos de informação entre os agentes, a informação é enviada de cada um dos nós para um componente da infraestrutura, através de processos sem fios que leem, decodificam e traduzem para uma mensagem que todos os componentes da infraestrutura compreendam e conseqüentemente difundam. Finalmente, os utilizadores terão acesso aos dados, com diferentes níveis de detalhe, através da interface.³⁴

Com a explicação acima da *IoT*s, pode concluir-se que a sua contribuição para a quarta revolução industrial é a recolha sistemática de dados de objetos, pessoas e máquinas que estão ligadas à Internet e assegurar a sua comunicação.

³²López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

³³Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

³⁴López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

2.1.3. O *Big Data*

A simples obtenção dos dados representa uma parte muito pequena do que estes têm para oferecer. É necessário que os dados passem por algumas etapas, como o armazenamento, a agregação e o processamento, para que os mesmos se tornem úteis. É nesta fase que o *Big Data* (e a disciplina de *Data Analytics*) se torna fulcral como solução tecnológica que eleva a informação a um patamar superior de qualidade e utilidade.³⁵

O primeiro passo na direção do *Big Data* é a chamada digitalização que é o processo de conversão de dados contínuos em dados discretos que torna possível que sejam lidos pelas máquinas.³⁶

A digitalização é uma etapa muito importante na transformação das fábricas tradicionais em fábricas inteligentes. Isto porque numa fábrica tradicional os dados estão armazenados em formato para leitura humana como documentos, livros de instruções e manuais.³⁷ Mesmo mais recentemente, apesar de haver dados que já se encontram armazenados em computadores, o formato é destinado à leitura humana, para que possam ser utilizados pelos colaboradores humanos. O esforço é então orientado para digitalizar os dados de modo a que estes possam ser tratados por computadores e utilizados pelas máquinas. É por isso que alguns autores designam a quarta revolução industrial de transformação digital, opção que seguimos neste estudo. É a *IoTs*, através das tecnologias sensoriais e de comunicação referidas anteriormente como *RFIDs* e *WSN*, que permite a digitalização (usando sensores).³⁸

De forma simples, o *Big Data* pode ser visto como um volume enorme de dados recolhidos que resulta de fluxos de diversas fontes. Utilizando técnicas de *Data*

³⁵Addo-Tenkorang, R. & Helo, P. T., (2016) *Big Data applications in operations/supply-chain management: A literature review*. Computers and Industrial Engineering.

³⁶De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

³⁷Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

³⁸De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

Analytics, é possível colher informações do cruzamento dos dados coletados que não seria, se os dados não fossem cruzados. O *Big Data* tem a capacidade de mudar o ambiente empresarial. Fá-lo ao mudar a maneira como as decisões são tomadas, que passam de decisões baseadas em lógica e causalidade para decisões que reconhecem a correlação entre eventos.³⁹ O valor que se extrai da obtenção de informação completa deriva da análise de dados (*data analytics*), da natureza e/ou fontes diversas dos referidos dados e da rapidez da sua obtenção. O *BigData* permite a descoberta de novos conhecimentos, a deteção de necessidades, a descoberta de maneiras alternativas de produzir, numa palavra, inovar.⁴⁰ Alguns autores suportam que o *Big Data* permite às empresas obter informação mais objetiva e mais precisa.⁴¹

A definição mais consensual de *Big Data* começa por apontar as diferenças entre os conjuntos de dados tradicionais e o *Big Data*, considerando este último como tendo maior volume de dados, obtidos a um ritmo mais rápido e de um maior número de fontes. Para explorar os referidos dados é necessários sistemas informáticos com um poder computacional superior ao tradicional e algoritmos e métodos de análise mais precisos e eficazes.

2.1.3.1. O percurso da informação

Como já foi referido acima, a quarta revolução industrial é permitida por um conjunto de conceitos, fases e tecnologias que quando integradas a possibilitam. Também foi referido que a informação é o principal “combustível” desta revolução. Assim, para medir em que ponto está a indústria metalomecânica no que refere à sua transformação digital é necessário conhecer as fases pelas quais a informação passa,

³⁹De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

⁴⁰Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁴¹De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

desde a recolha até à incorporação nas cadeias de valor e produção. A este processo é chamado ciclo de vida dos dados da produção industrial.

A primeira fase é a da recolha de dados que é maioritariamente feita através da internet. A internet serve como meio para comunicar entre os equipamentos, os produtos, as pessoas, os sistemas de informação e as redes com as ferramentas que vão processar a informação. Note-se que todo o processo de fluxos de informação é feito em *loop*, ou seja, o output de informação de um determinado processamento pode ser um *input* para outro processamento.⁴² Por exemplo, no caso dos sistemas de informação, que são sistemas que muitas vezes já possuem informação que foi analisada e resulta do cruzamento de outras informações ou dados. As informações presentes neste sistema podem ser usadas para complementar outras informações que vão dar suporte na tomada de decisão de outro componente, outra máquina ou outra pessoa. Daqui depreendemos que a *IoTs* é o principal método de recolha, nomeadamente, através de sensores inteligentes instalados nos produtos ou máquinas que fornecem dados sobre a produção, ou através da recolha de dados de telemóveis, computadores, tablets, bases de dados, ou páginas de internet que oferecem informação sobre os clientes e fornecedores e/ ou quaisquer outras variáveis importantes aquando das tomadas de decisão.⁴³

Depois da recolha e antes do processamento os dados têm que ser armazenados. No que refere aos dados industriais, estes são normalmente estruturados em números, símbolos e tabelas. Uma solução para um armazenamento mais flexível e eficiente é o recurso a *cloud computing* que permite que empresas com menos recursos, como as Pequenas e Médias Empresas (PME), partilhem serviços de armazenamento umas com as outras, reduzindo custos de armazenamento e aumentando a segurança dos dados. Uma vez armazenados, os dados são sujeitos a um tratamento que passa por eliminar

⁴²Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2011) *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*. LeeSeshia.org.

⁴³Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

dados duplicados, inconsistentes e incompletos. Os dados iniciais são reduzidos a um conjunto que se encontra num formato mais simples e ordenado, para que o processamento seja mais eficaz de acordo com o seu propósito.

A fase seguinte é a da análise de dados. Esta análise pode ser feita através de diferentes métodos como *clustering*, *classification*, *association rules*, regressões, previsões e análise de desvios. Todo este processo pode ser tornado mais eficaz através do uso de tecnologias modernas como *machine learning*, computação de grande escala e modelos de previsão.⁴⁴

A fase seguinte é a difusão dos dados entre os diferentes sistemas de informação, os *cyber-physical systems* e as pessoas. Quando os dados são processados e transformados em informação é necessário que a informação seja comunicada aos utilizadores, tendo de ser apresentada compreensivamente através de formatos intuitivos, como relatórios, tabelas, diagramas, gráficos e realidade virtual, em dispositivos “inteligentes” como tablets, telemóveis e máquinas.⁴⁵ A disposição da informação trabalhada por estas tecnologias cumpre um importante propósito da quarta revolução industrial que é a assistência técnica. Com a crescente automação/robotização da indústria, o exercício de trabalho manual passa a ser uma tarefa das máquinas, pelo que, os colaboradores humanos passam a ter um papel de decisores na produção. A exposição da informação de forma simples vem suportar a função humana nesta nova maneira de operar.⁴⁶ Esta fase é extremamente importante para alcançar a maior mais-valia da digitalização dos processos industriais que é no fundo, quer sejam pessoas ou computadores, tomar decisões tendo em conta as informações e preocupações dos outros intervenientes da cadeia de produção. É preciso distribuir a informação que resulta da análise de dados pelos diferentes intervenientes da cadeia de produção. Esta

⁴⁴Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

⁴⁵Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

⁴⁶Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

transmissão resulta numa tomada de decisão mais informada por parte dos diversos intervenientes da empresa, acrescentando valor.

A última fase é a da utilização da informação que resulta da análise de dados pelos diferentes intervenientes da cadeia de valor e produção. Essa informação tem utilidade nas diferentes etapas de produção. Desde logo no design dos produtos, onde se incorporaram as informações sobre os clientes, sobre a concorrência e sobre os mercados. Depois na produção, onde é possível ajustar os processos e o equipamento para a produção ser mais customizada, de acordo com as necessidades, facilitando também o controlo de qualidade. Por último, permite a previsão das necessidades de manutenção das máquinas, evitando erros imprevistos que prejudiquem a eficiência.⁴⁷

A informação proveniente da análise dos dados recolhidos permite que os decisores estejam ao corrente das alterações constantemente, ajudando-os a tomar decisões apropriadas de forma mais precisa. Assim, é possível transformar a produção em produção inteligente ao coordenar os planos da produção, as atividades e os recursos.⁴⁸

2.1.4. *Cyber-Physical Systems*

Para que a transformação da fábrica aconteça são necessários avanços tecnológicos que permitam a gestão entre ativos físicos e as capacidades computacionais, isto é, a conexão de uma série de sistemas.⁴⁹ Esta função é atribuída aos CPSs, onde sistemas integrados de computadores e redes controlam e monitorizam processos físicos. A interação funciona nos dois sentidos, ou seja, os processos físicos afetam os computadores e vice-versa.⁵⁰ Concluindo assim que os CPSs são sistemas que fazem a

⁴⁷Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

⁴⁸Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁴⁹Lee, J. S., Bagheri, B. C., Kao, A. (2015) *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters 3.

⁵⁰Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2011) *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*. LeeSeshia.org.

ponte entre o mundo real e o mundo virtual, que possibilita que as máquinas possam ajudar ou substituir os humanos na execução de tarefas, uma vez que conseguem aceder e processar mais informação, mais rapidamente. Os CPSs são considerados um fator chave para a implementação da quarta revolução industrial.

Note-se que os conceitos e tecnologias abordados previamente são partes integrantes dos CPSs. A aquisição de dados maioritariamente por meio da *IoT*s dá origem a um enorme volume de dados que é transformado em informação por meio de técnicas de exploração e análise do *Big Data*. Esta informação é incluída nos sistemas e distribuída para as máquinas ou para as pessoas, para as quais é necessária, aquando da tomada de decisão durante o desempenho das suas funções. No caso das máquinas, as funções para que foram programadas e, no caso das pessoas, as funções que lhes foram designadas. A informação é apresentada aos operadores de forma compreensiva, por exemplo através de gráficos e tabelas. E é enviada dos sistemas (espaço virtual) para as máquinas (espaço físico) controlando-os, dando-lhes capacidade de se configurarem e de se adaptarem de acordo com as necessidades dos clientes, da produção, dos recursos (matérias primas e as próprias máquinas) e de todos os agentes que influenciam o sucesso da produção.⁵¹ É importante reforçar a reciprocidade da interação da realidade virtual e física sendo que as máquinas também afetam os sistemas informáticos ao enviar-lhes *feedback* das suas operações, podendo estes alterarem a forma como as mesmas operam. Estas relações são desenhadas por engenheiros e informáticos que, através de métodos de programação, orientam estes sistemas para que suportem, em termos operacionais, a autonomia das máquinas, acrescentando uma flexibilidade e eficiência à produção que o fator humano por si só não seria capaz de acrescentar.

⁵¹Lee, J. S., Bagheri, B. C., Kao, A. (2015) *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters 3.

2.1.5. *Smart Factories*

As fábricas inteligentes ou *Smart Factories* têm uma produção inteligente. Isto é, recorrem à tecnologia para implementar a flexibilidade, a capacidade de responder rapidamente às necessidades das partes interessadas na produção e a eficiência produtiva.^[52,53] Estas fábricas integram um conjunto de sistemas que comunicam entre si e são capazes de operar em tempo real de acordo com a procura /necessidades dos clientes e de acordo com as exigências da cadeia de produção.⁵⁴ Estas características são resultado da integração de tecnologias que coletam, processam e distribuem informação com propósito de capacitar os componentes para tomar decisões e executar ações eficazmente na cadeia de produção e subsequentemente. Através de ferramentas de análise apropriadas, a informação é aplicada a indivíduos e/ou grupos, o que se traduz em processos orientados para a satisfação das partes interessadas.⁵⁵

Dito o acima, a informação/conhecimento, tal como nos humanos, é o ativo que “intelectualiza” as fábricas e, por conseguinte, a produção. Para que a tomada de decisão seja eficaz e resulte em processos ótimos, a informação tem de ser completa⁵⁶, tem de ter qualidade e tem de ser constantemente atualizada.⁵⁷ A produção inteligente é caracterizada, em termos práticos, por imbuir redes avançadas de tecnologias de informação nos processos produtivos e ao longo da cadeia de produção. A rede de tecnologias de informação permite capacitar as operações das fábricas de informações sobre os clientes, os fornecedores e o público em geral.⁵⁸

⁵²Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018) *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14.

⁵³Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁵⁴Chien C., Hong, T. & Guo, H., (2017) *An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower Industry 3.5*. Journal of the Chinese Institute of Engineers.

⁵⁵Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁵⁶Mayer-Schönberger, V. & Cukier, K. (2014) *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. American Journal of Epidemiology.

⁵⁷Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018) *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14.

⁵⁸Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

2.1.5.1. A instituição da descentralização como fator facilitador

Nesta dissertação a tecnologia é vista como uma extensão das capacidades humanas. A perspectiva é que as tecnologias resultam de inovações que visam melhorar as capacidades humanas. Por exemplo, os binóculos são uma ferramenta que aumenta a capacidade de visão natural.⁵⁹ A transformação digital das fábricas tem por base esta abordagem à tecnologia.

O esforço da digitalização advém da necessidade de desenvolver novas tecnologias, porque as capacidades humanas e as suas respetivas e atuais extensões não são suficientes para ultrapassar os obstáculos contemporâneos que a indústria enfrenta. A quarta revolução industrial passa por arquitetar sistemas integrados de tecnologias que possibilitem a delegação de funções às máquinas (descentralização)⁶⁰, nos casos em que as capacidades dos humanos aliadas à tecnologia corrente são insuficientes para manter a competitividade das empresas. Sendo assim, as capacidades humanas que a presente revolução vem estender são as capacidades de coligir, juntar, processar, analisar e integrar a informação resultante no sistema produtivo. Uma pessoa pode ler, ver e ouvir, mas não pode competir com a *IoT*s ou redes de sensores no que toca ao levantamento e junção da informação. Por melhor capacidade analítica que tenha, é impossível a uma pessoa superar a capacidade analítica de um computador. Por muito investimento em formações de *team building* que as empresas façam, é muito difícil organizar um grupo de trabalho em que os elementos colaboram e interajam entre si para alcançar os mesmo objetivos, com a frieza da ausência de emoções dos *CPS*s. Acresce a capacidade humana de trabalhar/produzir que é superior em fábricas automatizadas.

Portanto, a Indústria 4.0, transformação digital ou quarta revolução industrial ao implementar nas fábricas tecnologias que promovem o contacto entre máquinas, entre

⁵⁹Lawson, C., (2010) *Technology and the Extension of Human Capabilities*. Journal for the Theory of Social Behaviour.

⁶⁰Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

pessoas e entre máquinas e pessoas, nomeadamente através da internet, consegue um nível superior de coordenação.**(Interconexão)**⁶¹ Este nível superior permite a flexibilidade, tanto das cadeias de produção como das fábricas, ao adotarem uma forma modular de produção.^[62, 63] Uma estrutura modular é uma organização cujos componentes não têm uma ordem de uso. Consoante o objetivo da organização varia, os componentes são usados e ordenados da forma mais eficaz para completar as suas tarefas. No caso de uma fábrica as máquinas são utilizadas sem uma ordem padrão, dependendo dos produtos. No caso de uma cadeia de valor as empresas que a integram são incluídas no processo de fabrico de uma encomenda dependendo das especificações desta. Sendo assim, a customização em massa pode-se tornar viável porque as organizações têm os recursos disponíveis e podem alocá-los de forma a que oferta corresponda à procura. Em suma, esta extensão permite que haja um maior esforço na produção orientada para a procura, alinhando não só os elementos internos de uma organização, mas também os externos.

As fábricas, ao criarem estruturas para que os fluxos de informação se propaguem fluidamente pelos seus sistemas, conseguem que as informações de fontes diferentes se completem possibilitando uma melhor interpretação e um emprego mais eficaz **(Transparência de Informação)**. O aumento do volume de informação também permite contextualizar melhor a informação.⁶⁴

Uma vez que a interconexão entre os diferentes componentes da fábrica é alcançada e a informação se torna transparente, o prelúdio da descentralização está concluído. Os sistemas estão agora munidos de capacidades para aumentarem o seu nível de autonomia, nomeadamente em relação à tomada de decisão.⁶⁵ Agora, as inovações no

⁶¹Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

⁶²Kagermann, H., Wallster, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

⁶³Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

⁶⁴Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

⁶⁵ Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

campo cibernético e no campo da engenharia mecatrónica conseguem, através de algoritmos, desenhar sistemas (CPSs) que controlam redes de máquinas com recurso a informação que é empregue de acordo com o contexto/propósito em uso.^[66, 67, 68] E assim, ao integrar-se sinergicamente estas tecnologias e os seus princípios, chega-se ao fator chave mais importante para a flexibilização e responsividade de uma organização, que é a descentralização da tomada de decisão.

2.1.5.2. Aplicações da inteligência nas fábricas

Uma produção dinâmica e descentralizada permite que os diferentes intervenientes das cadeias de produção, através da coordenação, consigam satisfazer as necessidades dos clientes e que, também em conjunto, consigam aumentar a produtividade e a eficiência industrial.⁶⁹ As ambições da digitalização são possíveis através da tecnologia, que permite que o conhecimento global de um negócio e das suas operações seja aplicado em pontos locais de decisão.⁷⁰ Esta descentralização também é delegada aos consumidores finais que agora também pesam na maneira como as decisões são tomadas.⁷¹

Ao recorrerem à análise de dados dos consumidores, as empresas conseguem detetar as suas preferências consoante as características dos referidos consumidores, como a nacionalidade ou o género, e customizar o design ou outras características dos produtos conforme os mercados alvo.

⁶⁶Lee, J. S., Bagheri, B. C., Kao, A. (2015) *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters 3.

⁶⁷Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁶⁸Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

⁶⁹ Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁷⁰Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁷¹Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

A eficiência pode ser conseguida através da capacitação das fábricas para se configurarem automaticamente, conciliando as diferentes exigências. Isto é possível ao explorarem informação sobre os recursos e sobre as operações, que lhes permita um planeamento e a consequente execução de uma produção ótima.

As fábricas inteligentes e os seus componentes também se tornam mais produtivos através da capacidade de execução automática de tarefas. Através das tecnologias de informação podem saber o estado atual e a localização do produto, sendo capazes de ordenar o envio dos componentes necessários ou enviar o produto para as máquinas que são responsáveis por desempenhar as tarefas que estes precisam.

As fábricas tornam-se mais flexíveis ao terem capacidade para se autocalibrarem perante acontecimentos inesperados através do acesso a dados em tempo real.

É possível também diminuir custos e evitar perdas de eficiência ao dotar a fábrica de capacidades cognitivas. Se os sistemas e subsistemas que controlam as máquinas forem configurados para analisarem informação histórica podem detetar fatores que levam a anomalias.

Através da autorregulação, a fábrica pode melhorar determinados processos, de forma a estes terem menos falhas ou até mesmo a preverem avarias ou defeitos nos produtos antes de estes acontecerem, diminuindo o desperdício de materiais, de tempo e até evitando a deterioração das máquinas.⁷²

2.1.5.3. Não há um modo único de emprego da quarta revolução industrial

Até agora, a quarta revolução industrial foi exposta como se de uma fórmula única se tratasse. Recolhe-se e junta-se os dados através da *IoT*s e do *Big Data*. Transformam-se os dados em informação valiosa através de ferramentas de análise do *Big Data*. Canaliza-se a informação completa gerada para os sistemas e computadores das fábricas inteligentes, os *CPS*s, que permitem a interação do mundo virtual com o físico,

⁷²Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

dotando os operadores humanos e as máquinas de uma elevada autonomia no desempenho das suas tarefas, devido à posse de informação completa.^[73,74,75]

Todavia, para a implementação acima ser possível é necessário o compromisso de várias entidades, uma vez que para a informação ser completa tem que haver a digitalização de informação proveniente de diferentes partes da cadeia de valor e da cadeia de produção. Depois é preciso que hajam sistemas de comunicação ágeis e rápidos nas empresas, o que na prática implica investimentos em sensores e/ou tecnologia *RFID*, nos produtos, nas máquinas, nas pessoas. Implica também uma internet rápida, que carregue e descarregue informação rapidamente na/da rede, e investimentos na compra de poder computacional de grande escala. Obriga à construção e programação dos *CPSs*, que são específicos para cada empresa ou fábrica, e a responder a muitas outras necessidades. A presença de obstáculos, num ou mais dos elementos referidos, torna difícil e moroso o processo de transformação digital. E por isso, hoje em dia é difícil encontrar empresas que usem produção inteligente em todo o seu processo produtivo.⁷⁶

Dito o acima, a transformação digital não passa apenas por informatizar um sistema produtivo. Passa por explorar estes sistemas, no sentido de desenvolver, manter ou aprimorar competências que uma empresa precisa ou domina.⁷⁷ Ter esta ideia em mente é importante quando uma empresa pensa em dar o passo na direção da transformação digital. Uma empresa pode utilizar as tecnologias e desenhar os seus sistemas para interagirem de forma a ser capaz de ter um melhor desempenho no uso das suas competências. A título de exemplo, pode-se considerar uma empresa que se distingue na customização do design dos seus produtos e outra que se distingue pelos

⁷³Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

⁷⁴De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015) *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings **1644**.

⁷⁵Lee, J. S., Bagheri, B. C., Kao, A. (2015) *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters **3**.

⁷⁶Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012) *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

⁷⁷ Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S., (2016) *2016 Global Industry 4.0 Survey*. www.pwc.com/industry40

preços baixos dos seus produtos. A primeira pode apostar em aplicar a análise de dados em fontes como sites em que os consumidores finais mostram as suas preferências, como o Facebook, e depois incorporar a informação na produção, enquanto que a segunda pode aplicar o poder computacional em explorar informações de bases de dados de matérias primas ou em inovação de métodos menos custosos. Uma transformação digital plena de uma fábrica permitiria que a produção se configurasse dependendo das necessidades, mas isso implicaria um investimento e uma integração muito maior. Conclui-se assim que a digitalização não tem apenas uma forma nem oferece apenas uma solução, mas sim que a sua implementação é particular para cada empresa, dependendo da sua atividade, da sua estratégia e dos seus recursos.

2.2. Cadeia de Valor Global (CVG)

Nesta dissertação, decidimos abordar o conceito de Cadeia de Valor Global (CVG), mais precisamente as relações das empresas no seio das CVGs em que operam. O intuito é perceber se o tipo de relações que as empresas desenvolvem com outras empresas nas GVCs tem impacto no nível de transformação digital.

Na literatura encontramos uma segmentação dos tipos de organizações globais baseada nas relações que as empresas-mãe têm com as empresas fornecedoras e vice-versa. Este *framework* foi desenvolvido por Gary Gereffi, John Humphrey & Timothy Sturgeon no artigo “*The governance of global value chains*” publicado em 2005.⁷⁸ Escolheu-se este *framework* porque no estudo das CVGs verificamos que muitos artigos

⁷⁸Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

de autores e instituições conceituadas recorriam ao mesmo para estudar as relações das empresas nas CVGs.^[79, 80, 81]

A globalização alterou e continua a alterar a forma como a produção e o comércio são feitos, nos dias de hoje. O constante aumento do passo tecnológico é o motivo principal que torna a globalização cada vez mais significativa. Este fenómeno força as empresas a reorganizarem as suas cadeias de produção e o seu posicionamento em cadeias de valor, para continuarem a ser competitivas. A diminuição das barreiras de comunicação permitiu a certas empresas passarem a explorar as vantagens de empresas locais, outrora inalcançáveis. As CVGs podem ser vistas como uma adaptação das empresas aos novos desafios, pois estas permitem integrar competências que estão espalhadas pelo mundo. As CVGs definem-se, então, como uma forma de organização das empresas, em relação ao comércio, investimento e produção internacional, caracterizada por ter as diferentes fases do processo produtivo alocadas a diferentes empresas em diferentes países.⁸² Umhas empresas procuram tirar partido destas capacidades através de investimento direto estrangeiro outras através do estabelecimento de relações comerciais com outras empresas.⁸³

2.2.1. Tipos de relação nas CVGs

As relações que as empresas estabelecem nas CVGs são divididas em cinco de acordo com três fatores: a complexidade das transações, a capacidade de codificar o conhecimento e o nível de competências dos fornecedores.⁸⁴ Estes três fatores são

⁷⁹Cattaneo, O., Gereffi, G., Miroudot, S. & Taglioni, D., (2013) *Joining, Upgrading and Being Competitive in Global Value Chains: A Strategic Framework*. Policy Research Working Paper 6406. The World Bank.

⁸⁰De Backer, K. & Miroudot, S., (2013) *Mapping Global Value Chains*. OECD Trade Policy Papers, N° 159. OECD Publishing.

⁸¹Gereffi, G. & Fernandez-Stark, K., (2016) *Global Value Chain Analysis: A Primer*. Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University.

⁸²OCDE. CVG's. <https://www.oecd.org/sti/ind/global-value-chains.htm>

⁸³Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

⁸⁴Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

maioritariamente influenciados pelo produto em questão e pelos esforços necessários para a sua produção. São estes os fatores que, de acordo com a literatura, definem as relações entre as empresas da mesma cadeia de valor.⁸⁵

A complexidade das transações diz respeito à informação que o comprador tem que dar ao fornecedor para este produzir a sua encomenda. Corresponde às especificações do produto e da sua manufatura. A codificação do conhecimento é a tradução do conhecimento tácito para informação, ou seja, é capacidade de explicar e transferir o conhecimento tácito que é necessário para a produção de um bem aos fornecedores. O nível de competências que os fornecedores possuem também define o tipo de relações entre uma empresa mãe e a empresa fornecedora, porque o envolvimento na produção da empresa fornecedora, por parte da empresa mãe, depende do *know-how* da empresa fornecedora para responder às necessidades da empresa mãe.⁸⁶

O primeiro exemplo de tipo de relações que as empresas fornecedoras podem estabelecer nas CVGs são as relações de mercado. Estas acontecem quando os produtos não são específicos, os fornecedores não têm que ter máquinas exclusivas para a sua produção e os fornecedores não têm de ser orientados na produção pelos compradores. Quando estas condições se observam, as transações são simples, fáceis de codificar, porque os fornecedores têm as competências para a produção, e exigem pouca coordenação entre compradores e vendedores. As relações de mercado permitem aos intervenientes serem independentes uns dos outros, possibilitando a troca de parceiros de negócio com custos baixos. Esta dinâmica resulta em que o estabelecimento dos preços esteja sujeito às forças do mercado.⁸⁷

O segundo exemplo são as relações modulares que são caracterizadas pelos fornecedores produzirem bens de acordo com especificações dos clientes, com máquinas não específicas. Este tipo de relações na cadeia de valor é caracterizado pela

⁸⁵Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

⁸⁶Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

⁸⁷Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

habilidade de codificar informações de produtos complexos, o que traz a vantagem de não ser necessária muita coordenação entre os intervenientes. As relações modulares permitem a transferência de informação complexa, pois as especificações técnicas são padronizadas a nível de componentes, processos de produção e produto. Assim, o que customiza os bens são as competências do processo tecnológico que o fornecedor possui. A padronização leva a que estas relações se aproximem das relações de mercado, pois permitem rapidez, flexibilidade e acesso a fatores de produção de baixo custo. Isto significa que, apesar da mercadoria entregue ser específica para uma empresa cliente, o fornecedor tem a flexibilidade de rapidamente fornecer uma mercadoria diferente a um outro cliente.⁸⁸

O terceiro tipo de relações são as relacionais. Aqui os produtos são específicos, o que leva a transações complexas. No entanto, como não é possível codificar a informação, a troca de informação tácita tem que ser feita através de coordenação específica e interação presencial. Nas relações relacionais o fornecedor e o comprador apresentam dependência mútua, porque o fornecedor apresenta um grau elevado de competências, ou seja, faz melhor a sua função do que a empresa cliente e que a concorrência, pelo que é de difícil substituição. A relação das empresas chega mesmo a ser de complementaridade.⁸⁹

O quarto tipo de relações são as cativas que acontecem quando as instruções para a produção, de um cliente para o fornecedor, são complexas, mas o cliente tem a habilidade de codificar a informação detalhadamente. No entanto, as competências dos fornecedores são poucas, o que obriga a que haja investimento por parte do cliente, normalmente uma empresa grande, em controlar e intervir na empresa fornecedora. Estas relações forçam a dependência da empresa fornecedora para com a empresa mãe, porque os fornecedores normalmente têm tarefas simples de montagem e a sua função é complementada com atividades desenvolvidas na empresa mãe. Adicionalmente,

⁸⁸Gereffi, G., Humphrey, J. Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

⁸⁹Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

para não perder o investimento, a empresa mãe cultiva, intencionalmente, a dependência da empresa fornecedora, ao exercer controle e através da transferência de recursos.⁹⁰

Por último, existem as relações hierárquicas. Neste caso o produto é complexo, as suas especificações não podem ser codificadas e não há fornecedores autônomos suficientemente competentes. As empresas mãe são obrigadas a organizarem as suas cadeias de valor de forma hierárquica, ou seja, a desenvolverem as atividades na própria empresa ou em empresas que lhes pertencem. Nestas relações, o conhecimento tácito é trocado e coordenado entre as diferentes atividades da cadeia de valor.⁹¹

2.2.2. As relações nas CVGs e os princípios da indústria 4.0

O esforço para diferenciar os produtos já foi apontado, neste capítulo, como o principal *driver* da competitividade nos dias de hoje. Uma vez que as necessidades e/ou desejos de consumo mudam de país para país, de grupo social para grupo social e de indivíduo para indivíduo, o alcance deste fator chave aumenta drasticamente a complexidade da cadeia de valor de um produto.

O aumento da exigência dos consumidores aumenta a dificuldade da coordenação de informação entre fornecedores e clientes, que agora têm um volume muito maior de informação para incorporar nos seus processos e que em vez de produzirem produtos padronizados têm de produzir produtos mais customizados. Esta tendência pode ser observada no quotidiano de qualquer indivíduo que quer comprar um carro ou um telemóvel. Qualquer um destes bens, dentro de uma marca, tem várias gamas, dentro de uma gama, tem vários modelos, dentro de um modelo, tem várias especificações e no caso dos carros ainda se pode aumentar o nível de customização com vários extras. A simples constatação deste facto permite perceber a complexidade

⁹⁰Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy, 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

⁹¹Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005) *The governance of global value chains*. Review of International Political Economy. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

que uma organização tem de ter, para fornecer tanta variedade aos clientes. Desde o tempo e esforço que têm de dedicar para informar os fornecedores que, por exemplo, querem uma encomenda constituída por vários componentes com o mesmo fim, mas que têm especificações e matérias-primas diferentes, até desenvolverem o planeamento destas encomendas através de estimativas do tipo de procura nos tempos que se avizinham.

Para uma cadeia de valor funcionar desta forma é necessário que os fornecedores sejam extremamente flexíveis e tenham uma enorme capacidade de absorver a informação dos clientes. É nesta dimensão do comércio que a quarta revolução industrial ganha especial relevo, a pressão dos mercados para a customização dos produtos aliada à necessidade da rentabilidade destes produtos. Outrora, a referida customização impediria a obtenção de economias de escala. Com os princípios da indústria 4.0, isso não tem de acontecer.

A interconexão entre as empresas envolvidas num processo produtivo, por um lado, aumenta a dependência entre estas e, por outro lado, permite juntar o conhecimento das várias empresas e as suas perceções de toda a envolvente do processo (informação em forma de dados que resulta no princípio introduzido anteriormente da transparência da informação). Tudo isto permite a produção de bens o mais próximo possível das necessidades/desejos dos clientes. Os intervenientes na produção estão constantemente ocorrentes das necessidades/desejos dos clientes e consumidores finais. Mesmo assim, a impossibilidade de produzir bens customizados em massa continua a existir. A barreira é ultrapassada pela introdução do princípio da descentralização das decisões que dá origem à automação. Ao fazer chegar às máquinas informação suficiente para estas tomarem decisões, as mesmas podem adaptar o caminho que um produto tem de fazer na linha de montagem para os módulos que conferem ao produto as características solicitadas por um cliente.

São estas tecnologias caracterizadas por estes princípios que permitem alcançar a flexibilidade e capacidade de processamento ao longo das cadeias de valor,

características necessárias para competir num panorama internacional cada vez mais assente na globalização.

2.3. Indicadores parciais e compósitos

A terceira parte da revisão de literatura tem o intuito de apresentar os indicadores que estão na base dos indicadores que desenvolvemos no capítulo 3.

No capítulo 3 desenvolvemos indicadores compósitos que visam caracterizar as empresas do setor metalomecânico em Portugal e o setor como um todo no que refere ao seu grau de transformação digital no presente. Para construir estes indicadores, usamos como suporte da literatura o *Digital Transformation Scoreboard 2017* da Comissão Europeia (CE) e o *Multidimensional Poverty Index (MPI)* da Organização das Nações Unidas (ONU).

2.3.1. *Digital Transformation Scoreboard 2017*⁹²

O *Digital Transformation Scoreboard 2017 (DTS 2017)* da CE visa monitorizar e comparar a transformação digital do conjunto das indústrias dos Estados Membros (EM) da União Europeia (UE), com a exceção das indústrias que operam no ramo tecnológico. O *DTS 2017* integra o designado *Digital Transformation Monitor (DTM)* e é desenvolvido através de questionários e através da construção de indicadores parciais e compósitos associados à transformação digital do conjunto das referidas indústrias em cada um dos EM.

O *Digital Transformation Scoreboard 2017* é constituído por três indicadores compósitos que consideram uma ou mais dimensões/categorias e vários indicadores parciais por dimensão/categoria. O *Digital Transformation Enablers' Index (DTEI)* é um

⁹²European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

índice que tem em conta 5 dimensões/categorias e um total de dezanove indicadores parciais. Estas dimensões/categorias são consideradas essenciais para que haja a transformação digital num país. As categorias são “Infraestruturas digitais”, que pretende perceber se efetivamente estas existem, o “Investimento e Acesso a Financiamento”, que pretende perceber se há investimento em atividades ligadas à digitalização e como é que são financiadas, a “Oferta e Procura por Competências Digitais”, que visa avaliar a disponibilidade de competências digitais na população, a categoria de “E-liderança” que tenta entender até que ponto existe educação e formação que facilita a criação de competências digitais, e a “Cultura Empresarial”, que pretende medir se a envolvente nacional favorece os negócios e qual o nível da cultura empresarial.

Os outros dois indicadores compostos são o *ICT Start-up Evolution Index* e o *Digital Technology Integration Index (DTII)*. Cada um destes índices apresenta apenas uma dimensão/categoria. O primeiro mede a presença de empresas Start-up digitais e considera quatro indicadores parciais. O último, mede a transformação digital das empresas que não as Start-up e considera oito indicadores parciais.

A estrutura dos indicadores referidos é apresentada na tabela 1 para melhor compreensão. Os dados dos indicadores parciais são recolhidos em várias bases de dados e dizem respeito a cada EM. A pontuação de cada EM em cada indicador parcial varia entre 0 e 100. No *DTEI* são atribuídos no seu cálculo os seguintes pesos a cada dimensão/categoria: “Infraestruturas Digitais”, 20%, “Investimento e Acesso a Financiamento”, 30%, “Oferta e Procura por Competência Digitais”, 30%, “E-liderança”, 10% e “Cultura Empresarial”, 10%. Os restantes dois indicadores compostos apenas consideram uma dimensão. Dentro de cada dimensão, todos os indicadores parciais têm o mesmo peso.

Estrutura dos Índices Segmentados por Dimensões e Respetivos Indicadores

Índice	Dimensões/ Categorias	Indicadores de Monitorização da Transformação Digital
Digital Transformation Enablers' Index (DTEI)	Infraestrutura Digital	Empresas a usar DLS ou outras conexões fixas de banda larga
		<i>Internet bandwidth</i>
		Percentagem de empresas a usar um <i>software</i> ERP para partilhar informação entre áreas funcionais
		Percentagem de empresas que usa sistemas CRM para analisar informação sobre os clientes para lhes fazer propostas
	Investimento e acesso a financiamento	Despesa em I&D por atividades (NACE) nos setores de alta tecnologia
		Taxa de imposto total (percentagem dos lucros comerciais)
		Disponibilidade de capital de risco
		Facilidade em obter capital nos mercados de capital locais
		Facilidade na obtenção de empréstimos
	Oferta e procura de competências digitais	Patentes europeias de alta tecnologia por milhão de habitantes
		Percentagens de pessoas que são especialistas em TIC do total de empregados
		Empresas que empregam especialistas em TIC e têm dificuldade em preencher as vagas
		Pessoas empregadas que lhes é fornecido um aparelho portátil que permite acesso à internet para trabalhar
	E-liderança	Percentagens de empresas que fornecem aos especialistas em TIC formação para melhorarem as suas capacidades
		Percentagem de indivíduos que têm formação em TIC através de instituições (Escolas, universidades)
		Empresas que equipam os colaboradores com aparelhos portáteis com conexão à internet
	Cultura empresarial	Percentagem de inquiridos que preferiam ser os seus próprios patrões perante as opções de; trabalharem para terceiros, serem os seus próprios patrões, nenhum ou não sei
		Percentagem de inquiridos que preferiam estabelecer o seu negócio se tivessem os meios suficientes
		Percentagem de inquiridos que têm uma opinião positiva dos empreendedores
	ICT Start-up Evolution Index	TIC's Start-Ups
Percentagem de emprego de empresas TIC (NACE Ver. 2)		
Variação ao longo do tempo da percentagem de SME's TIC em relação ao total de SME's		
Variação ao longo do tempo do valor acrescentado do setor TIC como percentagem do PIB		
Digital Technology Integration Index (DTII)	Integração da tecnologia digital	Empresas que usam programas ERP para partilhar informação com outras áreas funcionais
		Empresas que usam tecnologia de identificação por rádio frequência para identificação dos produtos pós-venda, ou durante a produção ou durante o serviço de entrega
		Empresas que usam mais de duas redes sociais
		Empresas que enviam e-faturas para processamento automático

	Empresas que contratam serviços de <i>cloud computing</i> de sofisticação média alta - Servidores partilhados ou exclusivos para a empresas
	Empresas que vendem >= 1% do seu turnover anual online
	Total turnover proveniente do e-commerce
	Empresas que fizeram vendas eletrónicas para outros países de EU

Tabela 1 - Estrutura dos índices do DTS 2017 | Fonte: *European Commission. (2017). Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*

2.3.2. O índice de pobreza multidimensional⁹³

O índice de pobreza multidimensional (Multidimensional Poverty Index – MPI) foi desenvolvido em 2010 pela *Oxford Poverty & Human Development Initiative* (OPHI) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O seu objetivo é identificar privações de condições de vida que são consideradas primárias para o bem-estar do ser humano e, conseqüentemente, identificar se as famílias são pobres ou não. A abordagem à pobreza é multidimensional, sendo esta medida nas dimensões que se consideram caraterizar a mesma.

O índice é composto por três dimensões, ou categorias, se seguirmos a nomenclatura usada no *DTS*, e pesam todas o mesmo para efeito de cálculo do *MPI*.

A primeira é a “Saúde” e é medida por dois indicadores, a “mortalidade infantil” que passa por saber se morreu alguma criança na família e a “nutrição” que visa entender se há alguém malnutrido na família. Ambas pesam 1/6 para o índice.

A segunda é a “Educação” que é igualmente medida por dois índices, “anos de escolaridade” que verifica se ninguém na família completou 5 anos de escolaridade e a “presença escolar” que verifica se há alguma criança, em idade de ir à escola, fora da escola, com idade compreendida entre 1 e 8 anos. Também, neste caso, ambos os indicadores pesam 1/6.

A última dimensão que é o “Nível de Vida”, compreende 6 indicadores, sendo que cada um pesa 1/18. A “eletricidade” que pretende saber se a família não tem eletricidade, a “água potável” que verifica se não cumpre a definição da *Millenium Development Goals* (MDG) ou se a água se encontra a mais de 30 minutos a pé, o “saneamento” que também verifica se não cumpre a definição da *MDG*, ou se a casa de banho é partilhada, a categoria “condição do pavimento” que visa verificar se o chão é sujo, tem areia ou estrume, o “combustível para cozinhar” se usam energia como madeira, carvão ou estrume para cozinhar e por fim a categoria “ativos” que

⁹³Alkire, S., and ME. Santos. 2010. *Acute Multidimensional Poverty: A New Index for Developing Countries*. Background paper for the 2010 *Human Development Report*. UNDP (United Nations Development Programme).

consiste em verificar se a família não possui mais do que um rádio, uma televisão, uma bicicleta, uma moto ou se não possui um carro/carrinha.

A estrutura do índice encontra-se ilustrado na tabela 2 para ajudar à sua compreensão.

Posteriormente a família é classificada como pobre ou não consoante a classificação do indicador. Se a pontuação média ponderada das categorias for superior a 30%, então à luz do *MPI* a família é considerada pobre.

Uma importante característica do *MPI* que importa ao presente estudo é o resultado dos indicadores parciais ser binário, ou seja, é atribuído o valor 1 quando se verifica privação e 0 quando não se verifica, em cada indicador parcial.

O *MPI* é o produto entre a percentagem de famílias que são pobres *H* e a intensidade média da pobreza dessas famílias (média dos scores de pobreza das famílias consideradas pobres).

Estrutura do MPI Segmentado por Dimensões e Respetivos Indicadores		
Índice	Categorias/Dimensões	Indicadores
<i>Multidimensional Poverty Index (MPI)</i>	Saúde	Nutrição
		Mortalidade infantil
	Educação	Anos de escolaridade
		Presença escolar
	Nível de Vida	Eletricidade
		Água potável
		Saneamento
		Condição do pavimento
		Combustível para cozinhar
		Ativos

Tabela 2 – Estrutura do MPI| Fonte: Alkire, S., and ME. Santos. 2010. *Acute Multidimensional Poverty: A New Index for Developing Countries*. Background paper for the 2010 Human Development Report. UNDP (United Nations Development Programme).

Capítulo 3 - O Modelo Empírico

3.1. Dimensões e indicadores parciais

Neste capítulo apresenta-se o modelo empírico desenvolvido. O primeiro passo é descrever os indicadores parciais para cada dimensão que se considerou fazerem parte da transformação digital. Os indicadores parciais têm uma correspondência com as perguntas do questionário realizado. Depois, o cálculo dos indicadores compósitos ao nível da empresa correspondentes às referidas dimensões é descrito. Segue-se a análise da regressão conduzida com os indicadores compósitos referidos e outras variáveis ao nível da empresa e os indicadores compósitos desenvolvidos para comparar grupos de empresas. Por fim, descreve-se o questionário e o modo como este foi aplicado.

Como constatado no capítulo 2, o estudo *DTS 2017* da Comissão Europeia (CE) segmenta os indicadores parciais que considera sobre a transformação digital da indústria de um país em dois tipos: os *enablers* ou fatores que favorecem a transformação digital da referida indústria e *outcomes* ou resultado da referida transformação digital. No modelo desenvolvido para caracterizar a transformação digital das empresas do setor metalomecânico em Portugal segue-se um procedimento semelhante. Como *enablers*, são consideradas apenas duas das dimensões contempladas pelo *DTS 2017* - Infraestrutura Digital e a Competências Digitais da Força Laboral – e como *outcomes* a dimensão contemplada pela *DTS 2017* - Integração da Tecnologia Digital.

Como no *DTS 2017*, cada uma das três dimensões consideradas é medida com o recurso a um conjunto de indicadores parciais. Os indicadores parciais usados são, em grande parte, baseados nos usados pelo *DTS 2017*. Apenas divergem na medida em que foram simplificados e adaptados à análise realizada ao nível de cada empresa. Acresce que o estudo *DTS 2017* da CE é mais abrangente, pois cobre todas as indústrias de um país ou o país como um todo e utiliza dados secundários ou recolhidos a partir de bases de dados públicas existentes com dimensões e formatos diferentes. Já os

dados deste estudo são primários, pois foram recolhidos diretamente por nós junto das empresas, e são homogêneos quanto ao formato. Em particular no que diz respeito à Integração da Tecnologia Digital, para além dos indicadores parciais cobertos pelo *DTS 2017* são tidos em conta outros indicadores parciais considerados relevantes na literatura revista para este estudo.

3.2. Indicadores parciais de infraestrutura digital

Esta dimensão de *enablers* pretende verificar se as empresas possuem tecnologias consideradas fulcrais para alcançar a integração da tecnologia digital. A esta dimensão dizem respeito quatro indicadores parciais. Os dois primeiros verificam a existência de estruturas de internet e os dois últimos de softwares de gestão de informação. A internet é a tecnologia mais importante na quarta revolução industrial, cujo propósito principal é o da integração e comunicação entre diferentes tecnologias, pessoas e organizações. A internet é o meio que permite que estas interações aconteçam.

Tanto os *CRMs* como os *ERPs* foram considerados como fazendo parte da infraestrutura digital cumprindo a mesma lógica, mas em realidades diferentes. Tanto um como outro são fontes importantes de informação que pode ser utilizada na tomada de decisão, quer seja de pessoas ou de máquinas. A diferença é que os *ERPs* captam a realidade empresarial, como os recursos existentes e os custos, enquanto os *CRM* captam a perspetiva do cliente, como as queixas e os níveis de procura. Os indicadores parciais considerados nesta dimensão de *enablers* são os seguintes:

1.1 A empresa tem conexão à internet com velocidade superior a 30 MB/s?⁹⁴

A internet permite a conectividade que possibilita a interação dos objetos, pessoas e máquinas. Tecnologias chave como *cloud computing*, *IoT*, redes sociais, tecnologias móveis, *big data* e análise de dados dependem da internet a certo ponto, como a

⁹⁴European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

digitalização é maioritariamente motivada pela troca de dados a velocidade de *download* e *upload* é um pré-requisito essencial para o seu funcionamento.⁹⁵

1.2 A empresa tem rede de internet sem fios?⁹⁶

A rede de internet sem fios é importante para a transformação digital porque para haver digitalização é preciso que os objetos que estão em constante movimento tenham ligação há internet, o que a rede com fios não permite.⁹⁷

1.3 A empresa usa algum *software* do tipo *ERP* ou equivalente?⁹⁸

A informação foi indicada na revisão de literatura como o principal *input* da transformação digital, pelo que, *softwares* de gestão de informação são o ponto de partida para armazenar e estruturar informação. Os *ERPs* como *softwares* de gestão de informação são fontes importantes de informação sobre as empresas. Aquando da incorporação da informação sobre uma determinada empresa na tomada de decisão, e existência dos *ERPs*, na infraestrutura das empresas, é fulcral.⁹⁹ No fundo, estes sistemas contribuem para a digitalização ao agregarem dados sobre a empresa que podem ser uteis para posterior incorporação em atividades da cadeia de valor. Esta mobilidade de informação de diferentes fontes acontece quando estas estão integradas em redes como a *IoTs*.

Este género de *software* permite no seu estado mais básico a organização digital da informação de uma empresa. Em estágios mais avançados permite cruzar informação de fontes diferentes fornecendo à empresa interpretações relevantes aproximando a informação do princípio *context-aware*, que é importantíssimo para a digitalização, referido na revisão de literatura.¹⁰⁰

⁹⁵Schwertner, K. (2017). *Digital Transformation of Business*. Trakia Journal of Sciences.

⁹⁶López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

⁹⁷López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

⁹⁸European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

⁹⁹Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018) *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48.

¹⁰⁰Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

1.4 A empresa usa algum *software* de apoio à gestão de clientes?

Na revisão de literatura foi constatado que um dos principais drivers da necessidade da digitalização é a crescente importância da resposta às necessidades dos clientes.¹⁰¹ Os sistemas CRM permitem a partilha de informação sobre os clientes dentro de uma organização a partir de vários pontos das organizações, tornando a informação disponível para todos os agentes aumentando a qualidade das relações com os clientes. Com o constante *input* de informação, no sistema, dos pontos de contacto de uma organização com os clientes, as novas necessidades estão constantemente a ser detetadas o que permite a flexibilização da organização à alteração das necessidades dos clientes com eficácia.

3.3. Indicadores parciais de competências digitais da força laboral

Esta segunda dimensão de *enablers* pretende medir a presença de competências que permitem aos recursos humanos das organizações o uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs) nas suas operações. A preocupação é munir os ditos recursos humanos das referidas competências. As competências TIC são consideradas necessidades *a priori*, uma vez que a importância do ser humano como objeto central de qualquer organização não muda, perante o estabelecimento da transformação digital, mas sim a sua função ou o seu *savoir-faire*. A função dos recursos humanos passa agora pelo domínio das tecnologias de informação e comunicação. Os indicadores parciais considerados nesta dimensão de *enablers* são os seguintes:

2.1 Mais de metade dos colaboradores tem competências em TIC (tecnologias de informação e comunicação)?¹⁰²

¹⁰¹Kagermann, H., Walther, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

¹⁰²European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

Por competências TIC entende-se os trabalhadores que são capazes de trabalhar com programas TIC que facilitem a sua função dentro da empresa. Em alguns casos pode ser, por exemplo, o Excel, e, noutros casos, os sistemas CRM ou ERP. A existência de profissionais com competências TIC é muito importante por duas razões. A primeira é que para gerir os sistemas complexos das novas tecnologias e aproveitar as suas potencialidades são precisos colaboradores qualificados na área.¹⁰³ A segunda é que com o rápido aumento do avanço tecnológico são necessários especialistas que mantenham as empresas atualizadas quanto às novas tecnologias. A inovação é um processo contínuo e para manter a competitividade é preciso estar constantemente a inovar.

2.2 A empresa proporciona aos trabalhadores formação em TIC?¹⁰⁴

A questão é importante porque a maior parte das empresas que reconhecem a importância da digitalização têm trabalhadores cujas habilitações são suficientes para o paradigma tecnológico anterior, mas, no entanto, já não são suficientes para o novo paradigma. Como a oferta de trabalho qualificado está baixa e as leis laborais dificultam a dispensa de trabalhadores, a formação ganha especial importância na adaptação dos recursos humanos à digitalização.¹⁰⁵

2.3 A empresa tem dificuldade em recrutar ou subcontratar recursos humanos com competências em TIC?¹⁰⁶

A falta de mão-de-obra qualificada é um obstáculo à digitalização. Esta pergunta pretende perceber se as empresas conseguem ter acesso a recursos humanos com competências TIC quer através da sua contratação, ou caso não seja possível, se

¹⁰³Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

¹⁰⁴European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹⁰⁵Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

¹⁰⁶European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

conseguem suplantar este obstáculo através de *outsourcing*. A externalização destas competências podem ser uma mais-valia para as pequenas e médias empresas. Recorrer ao *outsourcing* pode permitir as estas empresas o acesso a competências que as mesmas não têm capacidade de internalizar.

2.4 Os colaboradores usam aparelhos portáteis fornecidos pela empresa para comunicarem entre si e/ou com as máquinas?¹⁰⁷

Uma característica importante das *TICs* é o aumento da eficácia e rapidez nas comunicações, provenientes do aumento da informação e da rapidez da sua difusão. O uso de aparelhos portáteis para comunicar com pessoas e/ou com as máquinas numa empresa permite incorporar estas particularidades nas suas operações. A interação entre as pessoas e as máquinas é um tema central da digitalização. Pelo que, estes aparelhos permitem que as pessoas comuniquem entre si e com as máquinas, de qualquer sítio, conseguindo implementar agilidade que é importante para fomentar a flexibilidade na produção e a autonomia das máquinas.¹⁰⁸

3.4. Indicadores parciais da integração da tecnologia digital

Ao longo da revisão de literatura foi enfatizado que a transformação digital é mais do que a criação de novas tecnologias. É sobretudo a descoberta de novas maneiras de integrar tecnologias já existentes, de forma a dar origem a soluções produtivas mais eficientes. Posto isto, a presente e última dimensão, correspondente aos *outcomes* do *DTS 2017*, passa por entender se as empresas integram de facto tecnologias digitais nas suas atividades. Os indicadores parciais considerados nesta dimensão de *outcomes* são os seguintes:

¹⁰⁷European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹⁰⁸Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

3.1 A empresa usa um *software* do tipo ERP ou equivalente para partilhar informações entre áreas funcionais?¹⁰⁹

Esta pergunta intenta perceber se há difusão de informação dentro da organização para que a tomada de decisão seja fundada considerando as várias áreas da empresa e não apenas a área decisora. Na revisão da literatura é mostrada a contribuição da digitalização para o cruzamento da informação de modo a melhorar a qualidade da informação.¹¹⁰

3.2 A empresa usa código de barras nos produtos durante a produção?

O código de barras é uma tecnologia alternativa à RFDI que ganha especial relevo neste setor uma vez que o metal interfere com a radiofrequência.

3.3 A empresa usa tecnologia do tipo (RFDI) identificação por radiofrequência para identificação/monitorização dos produtos?¹¹¹

Tal como visto na revisão de literatura, para se construir uma rede de comunicação entres os vários componentes de uma fábrica, o primeiro passo nesta direção é a integração e reconhecimento destes mesmo componentes na rede. Por um lado, a integração de dispositivos de localização/identificação nos objetos permite aos sistemas identificar os objetos. E assim os sistemas tornam-se capazes de posteriormente organizar a informação proveniente dos sensores de acordo com o objeto ou grupo de objetos respetivamente. Por outro lado, a localização permite a monitorização dos produtos ao longo da linha de produção, assim como, a sua orientação ao longo da mesma.¹¹²

¹⁰⁹European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹¹⁰Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

¹¹¹European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹¹²López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer

3.4 A empresa usa sensores, por exemplo, de temperatura para a monitorização dos produtos?¹¹³

Os sensores são uma tecnologia mais avançada em relação à RFDI ou ao código de barras porque permitem conhecer informação de um objeto ou da sua envolvente, para além da identificação ou localização, num determinado momento. A função dos sensores é central na quarta revolução industrial, estes são os maiores coletores de dados que permitem que os sistemas tenham matéria prima para transformar em informação.

3.5 A empresa usa sensores para recolher informação sobre as máquinas utilizadas no processo produtivo?

Os sensores também são importantes ao nível das máquinas porque permitem recolher informação que pode ser útil na monitorização das mesmas, como um sensor de vibrações que possibilita saber se o ritmo de uma máquina é o pretendido ou se está a falhar. Estes sensores podem melhorar a eficiência do processo produtivo ao detetarem a necessidade de intervenção nas máquinas antes de estas avariarem, possibilitando o seu agendamento para os momentos mais oportunos.

3.6 A empresa usa um *software* de apoio à gestão de clientes para caracterizar os perfis dos mesmos e para adequar e comercializar melhor os seus produtos?¹¹⁴

Nesta pergunta/indicador parcial explora-se o potencial destes *softwares* ao se tentar perceber se as empresas integram a informação que os *CRMs* agregam nas atividades da cadeia de valor com o propósito de produzirem produtos mais adequados a cada tipo de cliente. Esta pergunta identifica o princípio referido na revisão de literatura da transparência de informação ao perceber se as diferentes informações sobre os clientes são usadas como forma de melhorar os produtos. A informação sobre as necessidades dos clientes é o principal *driver* da flexibilidade.

¹¹³European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹¹⁴European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

Para uma empresa conseguir ser eficiente na satisfação do cliente/mercado precisa de criar grandes bases de dados para analisar as tendências do mercado.¹¹⁵

3.7 A empresa usa alguma rede social?¹¹⁶

As redes sociais são importantes para a divulgação das empresas e para analisar as preferências dos consumidores finais. Naturalmente, as redes sociais têm mais contacto com os consumidores finais pelo que esta tecnologia é mais importante para as empresas que lidam diretamente com os consumidores finais.

3.8 A empresa usa tecnologia do tipo EDI ou equivalente no envio aos clientes de faturas para processamento automático (e-faturas)?¹¹⁷

Esta pergunta pretende verificar o uso do conceito *electronic data interchange* (EDI). EDI é a transferência de dados organizados de acordo com determinadas diretrizes de um computador para outro computador, sem intervenção humana, para processamento automático. Esta tecnologia é maioritariamente usada no setor da manufatura.¹¹⁸ É útil para enviar documentos de produção, o que agiliza os processos de troca de informação dentro das cadeias de valor através do aumento da integração das tecnologias.

3.9 A empresa usa serviços de *cloud* para armazenamento de informação, para uso de *software as a service* ou para outros fins?¹¹⁹

A tecnologia *cloud computing* é considerada fulcral no processo de digitalização. Esta facilita a digitalização porque permite que os seus usuários tenham acesso a uma rede partilhada de recursos computacionais. Ao contratar serviços *clouds* os usuários não têm que incorrer em investimento nas infraestruturas e podem usufruir das melhores tecnologias que melhor se adequam aos seus negócios. Os

¹¹⁵López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011) *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer

¹¹⁶European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹¹⁷European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹¹⁸European Commission. (2018). *Digital Economy and Society Index Report 2018 – Integration of Digital Technologies*.

¹¹⁹European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

fornecedores dos serviços promovem a normalização dentro dos seus serviços o que é importante para as empresas terem facilidade em colaborar com outras empresas, requisito necessário da digitalização.¹²⁰

3.10 A empresa faz vendas online?¹²¹

O recurso a vendas online é uma etapa da digitalização, na medida em que empresas *B2C* usam plataformas online como uma solução digital para aumentar o alcance de clientes. Esta solução ao aumentar o nível da digitalização da empresa numa atividade que, diz respeito à comunicação com os clientes, permite estender a digitalização, e a consequente informação que daí resulta, até às últimas atividades da cadeia de valor.

3.11 A empresa usa algum *software* do tipo MES (*Manufacturing Execution Systems*) ou equivalente?¹²²

Os MES são programas computadorizados que controlam, monitorizam e relatam o estado da produção. Estes programas ou programas semelhantes funcionam em conjunto com tecnologias de sensores e de identificação. Permitem integrar e automatizar as diferentes atividades da linha de produção, controlando a produção através de informação que incorporam e recolhem ao longo das várias etapas. Esta tecnologia é um bom exemplo dos três princípios apresentados na revisão de literatura e da sua dinâmica. Através da interconexão das várias etapas da linha de produção e de inputs, na forma de informação, de pessoas e das máquinas é possível organizar a informação de tal forma que os MES (transparência de informação), tornam a cadeia de produção mais autónoma (descentralização). A documentação do estado da produção em tempo real serve para assistir à tomada de decisão no processo produtivo planeando-a e

¹²⁰Schwertner, K. (2017). *Digital Transformation of Business*. Trakia Journal of Sciences.

¹²¹European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

¹²²PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

controlando-a eficazmente.¹²³ Este tipo de tecnologia vai de encontro ao princípio da **assistência técnica**.

3.12 A linha de produção é flexível com recurso à tecnologia?¹²⁴

Como foi referido na revisão de literatura para as fábricas explorarem o potencial que a integração digital oferece. Têm que se organizar fisicamente, de modo a que, a linha de produção consiga ser tão flexível como as circunstâncias são voláteis e por consequência a produção. Para isso é importante que as fábricas tenham linhas de produção que funcionam por módulos e que permitam alterar a linha de produção conforme as necessidades de produção.¹²⁵

3.13 A empresa partilha *softwares*/sistemas de informação, como CRM, MES e/ou ERP ou equivalentes, com clientes ou fornecedores?¹²⁶

A extensão da rede de digitalização para além da empresa, de forma a abranger os parceiros, é importante para aplicar a análise de dados ao longo da cadeia de valor para que a interpretação destes seja o mais completa possível incorporando outras dimensões que afetam o produto e que não são capturadas pela empresa corrente.¹²⁷

3.14 A empresa analisa a informação recolhida dos sensores das máquinas/objetos para prever a necessidade de manutenção das máquinas?¹²⁸

A digitalização é guiada pela informação, a análise de dados proveniente dos sensores das máquinas/objetos pode encontrar anomalias no desempenho das máquinas antes de falharem, possibilitando a prevenção das falhas, aumentando a eficiência das fábricas.¹²⁹

¹²³PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

¹²⁴PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*

¹²⁵ Kagermann, H., Wallster, W. & Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

¹²⁶PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

¹²⁷PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

¹²⁸PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

¹²⁹PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

3.15 A empresa utiliza a análise de dados para melhorar a eficiência energética?¹³⁰

O fluxo de dados em tempo real permite que as fábricas estejam ao corrente da procura atual podendo planear e gerir o uso das máquinas procurando a eficiência dos consumos energéticos.¹³¹

3.5. Método utilizado para identificar as relações na cadeia de valor

Com base na revisão de literatura desenvolveu-se uma chave dicotómica para identificar as relações das empresas na cadeia de valor de acordo com o *framework* apresentado no capítulo 2.

No questionário as empresas responderam a cinco perguntas sobre as suas relações na cadeia de valor:

- 1- A empresa produz para uma empresa que é sua proprietária?
- 2- Os produtos vendidos pela empresa variam consoante os clientes, isto é, são customizados e/ou seguem especificações dadas pelos clientes?
- 3- As máquinas usadas no processo de produção são específicas, isto é, variam de acordo com as especificações dos produtos dadas pelos clientes?
- 4- A maneira de produzir os produtos é decidida pela empresa, sem qualquer instrução dos clientes?
- 5- A empresa tem muita rotatividade de clientes?

Cada uma destas perguntas pretende capturar características consideradas únicas de um tipo de relação.

A pergunta 1 pretende perceber se a respondente se enquadra no tipo de relação hierárquica. É considerada esta relação quando a empresa responde sim, pois as

¹³⁰PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

¹³¹PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

empresas com relação hierárquica, normalmente, internalizam todas as atividades da cadeia de valor.

A pergunta 2 intenta perceber se a empresa respondente apresenta uma relação do tipo de mercado. Esta é identificada no caso de empresa responder não, pois significa que os produtos que vende normalmente são homogêneos para todos os clientes, o que é uma particularidade deste tipo de relação.

A pergunta 3, auxiliada pela pergunta 2, pretende identificar se as empresas têm uma relação modular. Caso a resposta seja não, significa que a empresa em causa produz produtos específicos para os clientes, mas com máquinas não específicas. Estas características são típicas de uma empresa com uma relação modular, de acordo com a revisão de literatura.

A pergunta 4 permite identificar se a relação que a empresa apresenta é relacional. Se a resposta for sim a empresa é então classificada como tendo uma relação relacional, pois significa que a empresa fornecedora tem mais conhecimento sobre o que está a produzir do que a empresa cliente. Esta é uma particularidade das empresas com este tipo de relação.

A pergunta 5 com auxílio da pergunta 4, pretende identificar se a empresa tem uma relação cativa. Caso a resposta seja não, a relação da empresa é classificada como sendo cativa, pois depreende-se que esta tem poucos clientes e que recebe instruções dos mesmos, o que são particularidades de empresas com este tipo de relação.

Na Tabela 3 exemplifica-se a utilização da chave dicotómica para cinco empresas.

Exemplo da chave dicotómica						
Empresa	Pergunta					Tipo de relação da empresa
	1	2	3	4	5	
A	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Relação Hierárquica
B	Não	Não	Não	Sim	Sim	Relação de Mercado
C	Não	Sim	Não	Não	Não	Relação Modular
D	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Relação Relacional
E	Não	Sim	Sim	Não	Não	Relação Cativa

Tabela 3 – Exemplo da chave dicotómica para as relações das CVGs | Fonte: Autor

3.6. Indicadores compósitos ao nível da empresa

O método de cálculo utilizado na construção de indicadores compósitos por cada uma das três dimensões de transformação digital consideradas ao nível de cada empresa foi ao encontro do utilizado pelo índice multidimensional de pobreza (*MPI*) para caracterizar a pobreza ao nível de cada família.

Os indicadores parciais considerados em cada dimensão são binários, de resposta Sim/Não. Uma resposta Sim é geralmente associada à presença de características que facilitam a transformação digital ou indicam a presença da mesma e corresponde a uma pontuação de 1. Uma resposta Não indica geralmente o oposto e é associada a uma pontuação de 0. Nos casos omissos ou de resposta NS/NR é atribuída uma pontuação de 0,5.

Para calcular o valor dos indicadores compósitos por dimensão ao nível de cada empresa atribui-se o mesmo peso aos indicadores parciais considerados em cada dimensão, de forma a que soma dos pesos dos indicadores parciais considerados em cada dimensão seja igual a 1. O score do indicador compósito de uma dada dimensão dá a intensidade da empresa, em termos de transformação digital, na referida dimensão. Um score superior a 0,5 significa que a empresa respondeu Sim a mais de metade dos indicadores a que respondeu Sim ou Não e é considerada como tendo uma boa performance na referida dimensão. Denominamos os três indicadores compósitos calculados para cada empresa de IIDi (dimensão infraestrutura digital), ICDFLi (dimensão competências digitais da força laboral) e IITDi (dimensão integração da tecnologia digital).

As três tabelas seguintes exemplificam o cálculo destes três indicadores compósitos para um conjunto de três empresas da amostra. A Tabela 4 mostra as pontuações de cada indicador parcial para as empresas A, B e C. A Tabela 5 diz respeito ao cálculo dos indicadores IIDi, ICDFLi e IITDi, para cada uma das empresas. A Tabela 6 dá os valores médios dos indicadores calculados para o conjunto das três empresas. Este tipo

de cálculo de valores médios é utilizado na secção 4.3. do capítulo 4 para caracterizar a amostra de empresas respondentes.

Exemplo - Pontuações nos indicadores parciais das empresas A, B e C							
Empresa							
	A		B		C		
Perguntas/ Indicadores	Resposta	Pontuação	Resposta	Pontuação	Resposta	Pontuação	
IIDi	1.1	Sim	1	Sim	1	Sim	1
	1.2	Sim	1	Sim	1	Sim	1
	1.3	NS/NR	0,5	Sim	1	Sim	1
	1.4	Sim	1	Sim	1	Sim	1
ICDFLi	2.1	Não	0	Sim	1	Sim	1
	2.2	Não	0	Sim	1	Sim	1
	2.3	NS/NR	0,5	Sim	1	Sim	1
	2.4	Sim	1	Não	0	Sim	1
IITDi	3.1	NS/NR	0,5	Sim	1	Sim	1
	3.2	Sim	1	Não	0	Sim	1
	3.3	Sim	1	Não	0	Não	0
	3.4	Sim	1	Não	0	Sim	1
	3.5	Sim	1	Não	0	Não	0
	3.6	NS/NR	0,5	Não	0	Sim	1
	3.7	Sim	1	Não	0	Sim	1
	3.8	Sim	1	Não	0	Sim	1
	3.9	Sim	1	Sim	1	Sim	1
	3.10	Não	0	Não	0	Não	0
	3.11	Sim	1	Não	0	Sim	1
	3.12	Sim	1	Não	0	NS/NR	0,5
	3.13	Não	0	Não	0	NS/NR	0,5
	3.14	Não	0	Não	0	Não	0
	3.15	Sim	1	Não	0	Sim	1

Tabela 4 – Pontuações nos indicadores parciais | Fonte: Autor

Exemplo - Cálculo do IIDi, ICDFLi e IITDi para as empresas A, B e C			
Empresa			
	A	B	C
Resultado IIDi	$= (1/4) * (1+1+0,5+1) = 0,875$	$= (1/4) * (1+1+1+1) = 1$	$= (1/4) * (1+1+1+1) = 1$
Resultado ICDFLi	$= (1/4) * (0+0+0,5+1) = 0,375$	$= (1/4) * (1+1+1+0) = 0,75$	$= (1/4) * (1+1+1+1) = 1$
Resultado IITDi	$= (1/15) * (0,5+1+1+1+1+0,5+1+1+1+0+1+1+0+0+1) = 0,73$	$= (1/15) * (1+0+0+0+0+0+0+0+1+0+0+0+0+0+0) = 0,13$	$= (1/15) * (1+1+0+1+0+1+1+1+1+1+0+1+0,5+0,5+0+1) = 0,67$

Tabela 5 – Cálculo do IIDi, ICDFLi e IITDi para as empresas A, B e C | Fonte: Autor

Exemplo - Cálculo do IIDi, ICDFLi e IITDi médio das empresas A, B e C	
Resultado IIDi	$= (0,875+1+1)/3 = 0,96$
Resultado ICDFLi	$= (0,375+0,75+1)/3 = 0,71$
Resultado IITDi	$= (0,73+0,13+0,67)/3 = 0,51$

Tabela 6 – Valores médios do IIDi, do ICDFLi e do IITDi calculados para as empresas A, B e C | Fonte: Autor

A título de exemplo, pela Tabela 5, a empresa A denota: i) ter uma boa Infraestrutura Digital ($0,875 > 0,5$); ii) ter um problema de Competências Digitais da Força Laboral ($0,375 < 0,5$); e iii) ter uma boa Integração da Tecnologia Digital ($0,733 > 0,5$).

3.7. Análise de regressão

Na análise de regressão, o Indicador Integração da Tecnologia Digital da empresa (IITDi) é utilizado como variável dependente, ou seja a variável a explicar, e os Indicadores sobre Infraestrutura Digital (IIDi) e Competências Digitais da Força Laboral (ICDFLi) e outras variáveis de caracterização das empresas, como por exemplo a dimensão, a localização e a posição na cadeia de valor, são utilizados como variáveis explicativas da primeira.

Recorreu-se à seguinte regressão linear:

$$\begin{aligned} IITDi = & b_0 + b_1 IIDi + b_2 ICDFLi + b_3 Idadei + b_4 VNi + b_5 Colabi + b_6 PEVNi + \\ & b_7 Clientesi + b_8 PNClientesi + b_9 Outrai + b_{10} Cativai + b_{11} Hierárquicai + \\ & b_{12} Relacionali + b_{13} CAE24i + b_{14} CAE25i + b_{15} CAE28i + b_{16} CAE29i + \\ & b_{17} CAE31i + b_{18} CAE33i + b_{19} CAE46i + b_{20} AltoMinhoi + b_{21} Avei + b_{22} Cávadoi + \\ & b_{23} Oestei + b_{24} Aveiroi + b_{25} Coimbrai + b_{26} Leiriaui + b_{27} Tâmegai + \\ & b_{28} Portoi + ui \end{aligned}$$

O propósito da análise de regressão é identificar grupos de empresas que se distingam no que refere à integração da tecnologia digital.

3.8. Indicadores compósitos para grupos de empresas

Três indicadores compósitos são calculados para grupos de empresas, sendo que o grupo pode corresponder ao total da amostra. Estes três indicadores correspondem às três dimensões consideradas: i) Infraestrutura Digital (IID); ii) Competências Digitais da Força Laboral (ICDFL); e Integração da Tecnologia Digital (IITD). À semelhança do MPI, estes indicadores obtêm-se multiplicando a proporção de empresas com um score superior a 0,5 numa dada dimensão pelo score médio obtido por essas empresas nessa mesma dimensão (intensidade).

3.9. O questionário e a sua aplicação

O questionário *on-line* desenvolvido tem três secções. A primeira permite fazer uma caracterização geral das empresas inquiridas. A segunda caracteriza as empresas em termos de transformação digital, utilizando os indicadores parciais acima mencionados. A terceira é sobre a relação da empresa nas cadeias de valor em que opera.

Poucas são as perguntas abertas do questionário. A maioria das perguntas é de resposta fechada Sim/Não ou NS/NR. O uso de respostas binárias é útil porque não só torna os indicadores produzidos fáceis de interpretar como também torna a resposta das empresas mais rápida, o que aumenta o número potencial de empresas respondentes.

O universo inquirido foi o das empresas do setor metalomecânico em Portugal clientes do CATIM, um total de 239 empresas (depois de retiradas da base de dados fornecida pelo CATIM as empresas que não pertencem à indústria metalomecânica).

Elaborado o questionário a aplicação do mesmo teve três fases: i) pré-piloto, ii) piloto; e iii) final. O pré-piloto consistiu em efetuar o questionário a três empresas presencialmente. O objetivo desta primeira fase foi obter feedback das referidas empresas sobre a adequação das perguntas. O piloto consistiu no envio do questionário a 100 empresas escolhidas aleatoriamente do universo de 239 empresas mencionadas. Esta fase permitiu proceder aos ajustes finais das perguntas do questionário. A fase final consistiu em enviar o questionário às restantes 139 empresas do universo.

Quer na fase piloto, quer na fase final, depois da primeira solicitação de resposta ter sido realizado, houve mais duas solicitações conduzidas às empresas que à data ainda não tivessem respondido à solicitação anterior. As novas solicitações de resposta foram enviadas com intervalos de 15 dias. À medida que as empresas iam respondendo o seu contacto era retirado, de forma a não voltar a solicitar a estas empresas a resposta ao questionário.

O questionário decorreu nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Das 239 empresas, um total de 55 empresas respondeu, o que significa uma taxa de resposta de 23,0%.

Capítulo 4 – Resultados e discussão

Neste capítulo apresentamos e discutimos os resultados do questionário conduzido ao setor metalomecânico português e os indicadores de transformação digital calculados a partir do mesmo para o referido setor.

4.1. Representatividade da amostra

Para aferir a representatividade da amostra de 55 empresas respondentes em relação ao universo de 229 empresas clientes do CATIM inquiridas utilizamos as divisões da Classificação Portuguesa das Atividades Económicas-Revisão 3 (CAE-Rev.3) do Instituto Nacional de Estatística (INE).

O universo de 239 empresas inquiridas clientes do CATIM distribui-se por 14 CAEs do setor: 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 43, 46, 47 e 71. A amostra de 55 empresas respondentes distribui-se por 8 CAE: 24, 25, 28, 29, 31, 33, 46 e 71. As CAE do universo que não estão representadas na amostra têm pouco peso no universo. Por outro lado, as CAE com maior expressão na amostra - 25 (fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos), 28 (fabricação de máquinas e equipamentos) e 29 (fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis) são as CAE com maior expressão no universo. A Figura 1 ilustra a distribuição por CAE do universo e da amostra. Da Figura 1 é possível retirar que a amostra é razoavelmente representativa do universo inquirido.

DISTRIBUIÇÃO DO UNIVERSO E DA AMOSTRA POR CAE

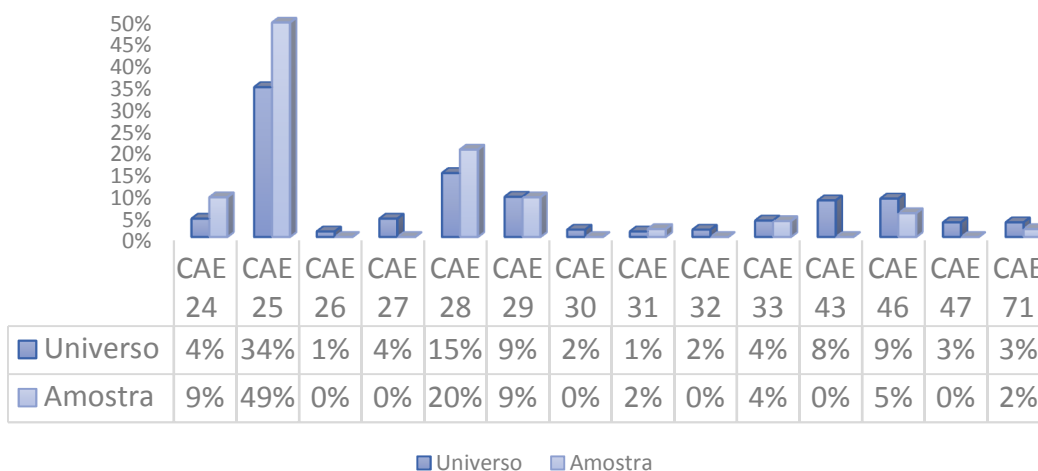


Figura 1 – Distribuição do universo e da amostra por CAE| Fonte: Autor

4.2. Descrição da amostra

Nesta secção descrevemos as características gerais das empresas respondentes e as principais relações na cadeia de valor reveladas.

A descrição que fazemos em seguida resulta das respostas à primeira secção do questionário. A idade média das empresas respondentes é de aproximadamente 34 anos, sendo que a empresa mais recente foi constituída há 5 anos e a mais antiga há 96 anos. Quase metade das empresas (45%) tem entre 26 e 50 anos (Figura 2).

IDADE DAS EMPRESAS

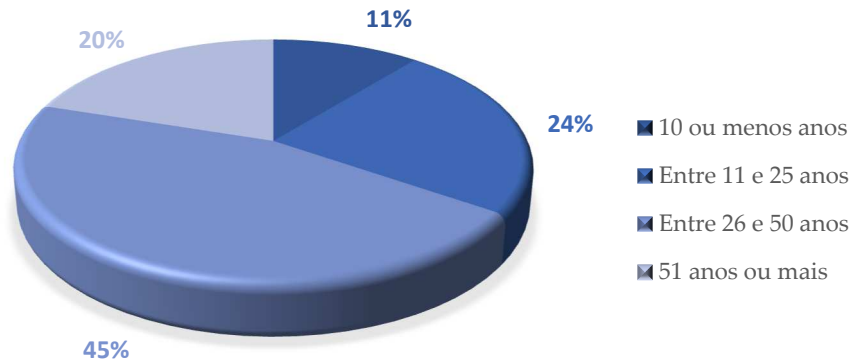


Figura 2 – Distribuição de idades pela amostra; n=55 | Fonte: Autor

No que refere ao volume de negócios, 42% das empresas tem um volume de negócios entre os 2 e menos de 10 milhões de euros e apenas 9% tem um volume de negócios superior a 50 milhões de euros (Figura 3).

VOLUME DE NEGÓCIOS (MILHÕES DE €)

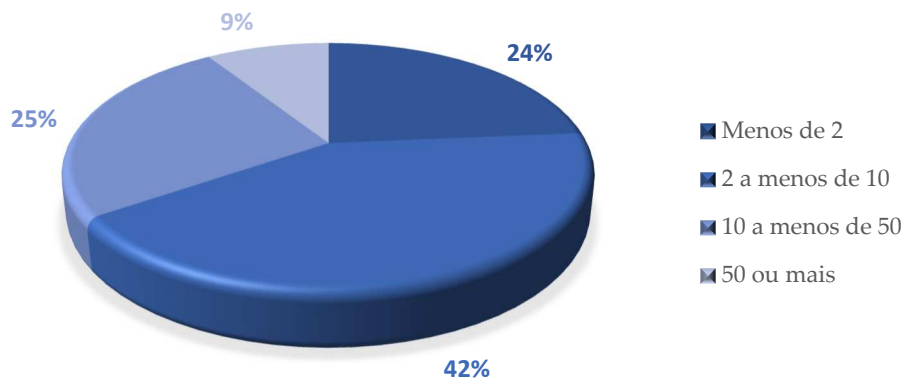


Figura 3 – Distribuição do volume de negócios pela amostra; n=55 | Fonte: Autor

Quanto ao número de colaboradores, 49% das empresas tem entre 50 e 249 colaboradores e 13% tem mais de 250 (Figura 4).

NÚMERO DE COLABORADORES

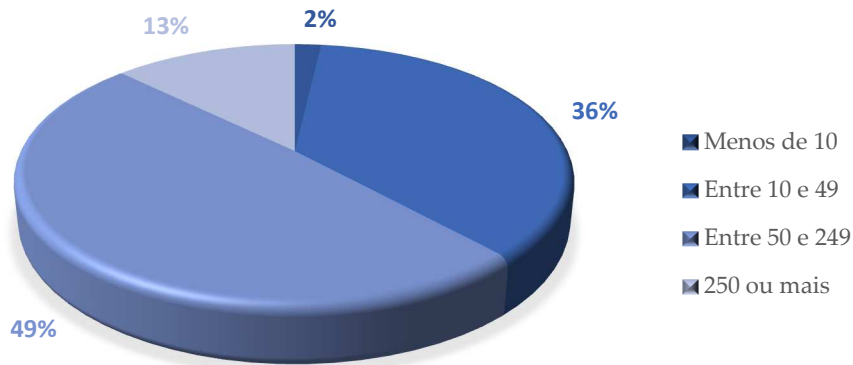


Figura 4 – Distribuição do número de colaboradores pela amostra; n=55 | Fonte: Autor

As duas categorias de dados anteriores permitem classificar a dimensão das empresas segundo os critérios recomendados pela União Europeia (UE). A UE classifica as empresas como microempresas (quando empregam menos de 10 colaboradores e têm um volume de negócios não superior a 2 milhões de euros), pequenas empresas (quando empregam menos de 50 colaboradores, têm um volume de negócios igual ou inferior a 10 milhões de euros e não são microempresas), médias empresas (quando empregam menos de 250 colaboradores, o volume de negócios não excede os 50 milhões de euros e não são micro ou pequenas empresas) e grandes empresas (quando empregarem mais de 250 colaboradores ou têm um volume de negócios superior a 50 milhões de euros). Tendo em conta estes critérios, 2% das empresas são microempresas, 31% são pequenas empresas, 54% são médias empresas e 13% grandes empresas (Figura 5). Ou seja, 87% das empresas são Pequenas e Médias Empresas (PMEs) e mais de metade das empresas (54%) são médias empresas.

DIMENSÃO

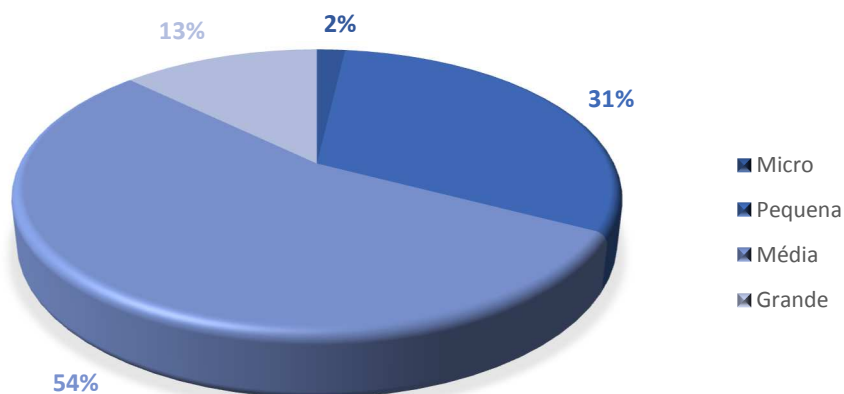


Figura 5 – Distribuição da dimensão pela amostra; n=55 | Fonte: Autor

Também foi solicitado às empresas que indicassem a percentagem de exportações no volume de negócios, o número total de clientes e a percentagem de novos clientes face ao total de clientes no ano de 2017. Responderam a estas perguntas, respetivamente, 45, 49 e 41 empresas, das 55 respondentes. Em relação à percentagem de exportações face ao volume de negócios, o valor médio reportado foi 45%, sendo que, das empresas respondentes, algumas produzem exclusivamente para o mercado doméstico e outras produzem exclusivamente para o mercado externo.

Quanto ao número de clientes das empresas, a média é de aproximadamente 600 clientes no ano de 2017. Todavia, este número varia entre 6 e 10 000.

Em relação à percentagem média reportada de novos clientes no total de clientes em 2017 esta é de 12%, sendo que este número varia entre 0 e 50%.

Por último, na amostra foram identificadas em 5, 4 tipos de relação das empresas nas cadeias de valor. Cerca de 16% das empresas apresentam uma relação hierárquica, cerca de 40% apresenta uma relação modular, cerca de 16% apresenta uma relação relacional, 15% uma relação cativa e as restantes 13% uma relação outra que não foi possível identificar com o *framework* utilizado (ver Figura 6).

RELAÇÕES NA CADEIA DE VALOR

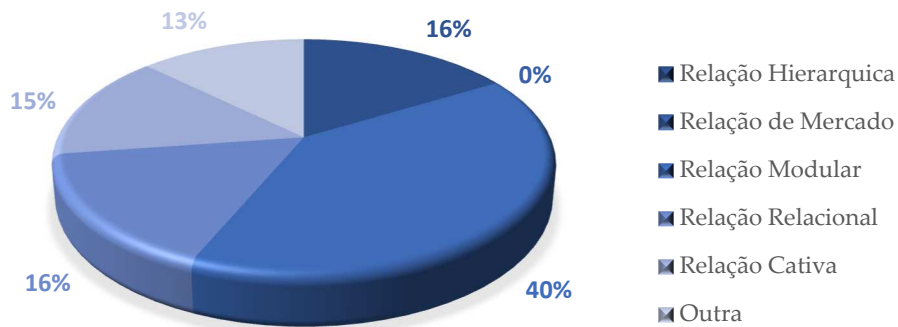


Figura 6 – Distribuição das relações na cadeia de valor; n=55 | Fonte: Autor

4.3. Indicadores parciais e compósitos da quarta revolução industrial

Score médio de respostas Sim por indicador parcial	
Perguntas/ Indicadores	Score médio
1.1	0,89
1.2	0,98
1.3	0,75
1.4	0,62
2.1	0,56
2.2	0,62
2.3	0,56
2.4	0,65
3.1	0,71
3.2	0,58
3.3	0,07
3.4	0,31
3.5	0,33
3.6	0,31
3.7	0,7
3.8	0,33
3.9	0,55
3.10	0,07
3.11	0,27
3.12	0,45
3.13	0,15

3.14	0,25
3.15	0,4

Tabela 7 – Scores médios dos indicadores parciais | Fonte: Autor

Resultados dos Indicadores compostos (i)		
Indicador sobre Infraestrutura Digital (i)	Indicadores sobre Competências Digitais da Força Laboral (i)	Indicador sobre a Integração da Tecnologia Digital (i)
0,825	0,636363636	0,4

Tabela 8 – Resultados médios dos indicadores compostos ao nível da empresa | Fonte: Autor

A Tabela 7 dá-nos uma fotografia do posicionamento médio do setor em relação à quarta revolução industrial. A Tabela 8 condensa a informação da Tabela 7 nos três indicadores compostos acima mencionados.

No que refere ao *enabler* infraestrutura digital, o resultado do indicador composto Indicador sobre a Infraestrutura Digital (i) (IIDi) é 0,825, bastante superior a 0,5. A maioria das empresas da indústria metalomecânica clientes do CATIM está dotada de infraestruturas digitais. Segundo a revisão de literatura, isto significa, que mesmo que a transformação digital não se verifique, a indústria metalomecânica tem a infraestrutura digital basilar para a implementar. Isto é, tem uma boa infraestrutura tecnológica que pode suportar a comunicação de informação em massa, que é característica da transformação digital, e uma boa infraestrutura de softwares de gestão de informação ou capacidade de gerir informação, que é o ativo mais importante da transformação digital. Os indicadores parciais mostram que as estruturas referentes à internet se encontram difundidas por quase todas as empresas, com scores médios de 0,89 e 0,98. A presença de softwares de gestão de informação é menos expressiva, com scores médios de 0,75 e 0,62.

Quanto ao *enabler* competências digitais da força laboral, vimos no capítulo 2 que a quarta revolução industrial procura estender as capacidades naturais do ser humano através da tecnologia e para o efeito necessita de trabalhadores capacitados. Isto é, as empresas têm de ter trabalhadores dotados com capacidades que lhes permitam

usufruir do potencial que a transformação digital tem para oferecer. O resultado do indicador compósito Indicador sobre as Competências Digitais da Força Laboral (i) (ICDFLi) é 0,64, ou seja, superior a 0,5. A força laboral da maioria das empresas tem competências digitais que facilitam a implementação da transformação digital. Todavia, as empresas do setor têm mais progressos a fazer nesta frente do que na infraestrutura digital. Os indicadores parciais obtidos nesta vertente oscilam entre 0,56 e 0,65.

No que diz respeito à integração da tecnologia digital, o resultado do indicador compósito Indicador sobre a Integração da Tecnologia Digital (i) (IITDi) é 0,4. Este valor está abaixo de 0,5 e significa que a transformação digital da indústria metalomecânica portuguesa está, em larga medida, por fazer. Pela análise dos scores médios dos indicadores parciais é possível ter uma ideia das principais limitações.

A recolha de dados foi vista como um dos primeiros passos para a implementação da quarta revolução industrial. Os dados são a matéria prima que permite a obtenção de informação que intelectualiza o sistema produtivo. Os indicadores parciais 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.7 referem-se à presença/uso de tecnologias nas empresas que recolhem dados de diversas fontes que interessam às empresas. Os scores médios nestes 5 indicadores são respetivamente 0,58, 0,07, 0,31, 0,33 e 0,7, o que indica que o setor não tem, em média, meios de recolha de dados. É de realçar a importância dos produtos e das máquinas como fontes de informação que acrescentam muito à “produção inteligente”, pelo que a presença de sensores nestas fontes são extremamente importantes. No entanto, a presença destes sensores no setor é relativamente baixa, oscila entre 0,31 e 0,33 (Indicadores 3.4 e 3.5). A falta de recolha de dados parece assim constituir um obstáculo importante.

Uma vez que existe informação e dados em massa, a preocupação é retirar informação dos dados e completar/melhorar a informação. Foi argumentado, na revisão de literatura, que a mais valia que este enorme volume de dados traz é munir os vários tomadores de decisão com informação útil às suas decisões. O sucesso do

processo passa, em grande parte, pela difusão da informação, internamente pela empresa e externamente pelas partes interessadas. A análise dos indicadores parciais 3.1 e 3.13 permite ter um vislumbre sobre se as empresas difundem a informação. Ambos os indicadores questionam se as empresas partilham sistemas de informação com as partes interessadas, o indicador 3.1 internamente e o 3.13 externamente. Ao nível interno o score médio é 0,71 e ao nível externo é 0,15. A discrepância pode ser explicada pelo reconhecimento do valor que a informação tem, por parte das empresas. As empresas ao partilharem informação com outras empresas, a montante ou a jusante, podem estar a revelar informação que lhes confere vantagem competitiva em relação às empresas concorrentes. A solução para remover este obstáculo não está, maioritariamente, no investimento. Para aumentar a predisposição das empresas para partilharem informação entre si estas têm de mudar a forma como vêm as empresas parceiras. No fundo, para que o propósito mencionado seja alcançado é necessária uma maior integração entre as empresas e as empresas parceiras que atuam nas mesmas cadeias de valor, para que funcionem como se fossem uma única empresa. Na prática isto significa a partilha de uma visão e de uma estratégia comum, resultante de um esforço conjunto. Nessa altura, haverá maior predisposição das empresas para partilharem informação entre si, uma vez que esta informação é para ser utilizada em conjunto, para atingir objetivos comuns.

Dito o acima, o investimento também pode desempenhar um papel fulcral no aumento da integração entre empresas parceiras numa cadeia de valor. Como foi dito anteriormente, o investimento em tecnologias que concebem a quarta revolução industrial é muito grande e como os sistemas implementados ao longo da cadeias de valor e mesmo das cadeias de produção são bastante customizados à estratégia, recursos e visão das empresas, as empresas que incorrem nestes investimentos em conjunto acabam por assumir um compromisso bastante sério entre si, tornando-se mais dependentes e tendo custos mais altos para mudarem de parceiros.

Da revisão de literatura depreende-se que uma das grandes vantagens de embarcar neste grande empreendimento tecnológico, que é a transformação digital, é aumentar o desempenho das empresas através da utilização dos dados/informação. Os indicadores parciais 3.6, 3.14 e 3.15 indicam se as empresas usufruem da informação, que possuem para aumentarem a produtividade e o desempenho através da melhoria de atividades e processos. Os scores médios destes três indicadores são, respetivamente, 0,31, 0,25 e 0,4, o que indica uma minoria de empresas a utilizar o potencial que a informação tem para oferecer à indústria moderna.

Da revisão da literatura depreende-se também que a grande mais-valia da quarta revolução industrial advém da capacidade de descentralização da tomada de decisão. O sistema integrado de tecnologias, que conecta desde os componentes da cadeia de valor aos componentes da cadeia de produção de uma fábrica, permite alcançar níveis elevados de produção autónoma. Os indicadores parciais 3.8 e 3.11 dizem respeito a duas tecnologias que promovem automação de processos de uma fábrica, a tecnologia *MES* (que promove a diminuição da intervenção humana nos processos produtivos) e a tecnologia *EDI* (que promove a diminuição da intervenção humana em processos de troca de dados). Estes dois indicadores permitem ter uma ideia de qual o estado de automação das empresas. Os scores médios dos dois indicadores são, respetivamente, 0,33 e 0,27, valores reduzidos.

Em suma, os resultados mostram que o setor metalomecânico tem uma infraestrutura digital que lhe permite avançar para a sua transformação digital e uma força laboral com competências digitais mínimas para o efeito. Todavia, a integração da tecnologia digital no referido setor está, em larga medida, por concretizar.

4.4. Análise de regressão

Nesta secção analisamos de que forma as características das empresas afetam o score do indicador compósito Índice sobre a Integração da Tecnologia Digital (IITDi)

obtido pelas mesmas. O objetivo é identificar grupos de empresas na indústria em que a integração da tecnologia digital é maior.

Como características explicativas do IITDi foram considerados os índices compósitos *enablers* IIDi e ICDFLi calculados, a idade da empresa, o volume de negócios, o número de trabalhadores, a percentagem de exportações no volume de negócios, o número de clientes, a percentagem de novos clientes, a relação revelada em termos de cadeia de valor, a CAE e os territórios (estes últimos para apanhar outras características não observadas).

Fatores explicativos para os diferentes níveis de transformação digital	
Variáveis	(1) IITDi
IIDi	0.469** (0.176)
ICDFLi	0.0927 (0.102)
Idade	-0.00123 (0.00201)
VN =/+ a 50 milhões de euros	0.242* (0.123)
Números de trabalhadores +/- 250 (Trab)	-0.0689 (0.0972)
PEVN	0.00143 (0.00108)
Clientes	-0.0000196 (0.0000159)
PNClientes	0.00257 (0.00272)
Outra	0.149* (0.0796)
Cativa	0.126 (0.114)
Hierárquica	0.0405 (0.0816)
Relacional	0.0278

	(0.120)
CAE 24	0.204* (0.110)
CAE 25	0.309** (0.128)
CAE 28	0.159 (0.129)
CAE 29	0.286** (0.114)
CAE 31	0.0224 (0.110)
CAE 33	0.305** (0.140)
CAE 46	0.0342 (0.0907)
Alto Minho	0.268 (0.190)
Ave	0.266 (0.227)
Cávado	0.298 (0.178)
Oeste	0.565*** (0.166)
Aveiro	0.226* (0.121)
Coimbra	0.00468 (0.143)
Leiria	0.154 (0.170)
Tâmega	0.266 (0.218)
Porto	0.203* (0.104)
Constant	-0.614** (0.236)
Observações	55
R-Quadrado	0.760
Erros padrão robustos dentro de parênteses	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

Tabela 9 – Resultados da regressão | Fonte: Autor

O IIDi tem um efeito positivo e significativo sobre a integração da tecnologia digital, para um nível de significância de 5%. O ICDFLi tem o sinal esperado, mas não é significativo, talvez pelo facto da variabilidade deste indicador na amostra ser pequena.

Empresas com volume de negócios igual ou superior a 50 milhões de euros apresentam maiores níveis de integração da tecnologia digital, para um nível de significância de 10%.

As CAE 24, 25 e 29 afetam positivamente a integração da tecnologia digital, com níveis de significância de 10%, 5% e 5%, respetivamente.

A relação na cadeia de valor foi incluída no modelo com o intuito de perceber se a posição das empresas na cadeia de valor, isto é o tipo de relação que mantêm com outras empresas clientes, tem impacto no seu nível de integração da tecnologia digital. Estas relações não mostraram ser significativas.

4.5. Indicadores compósitos para grupos de empresas

Na análise de regressão identificamos os seguintes grupos de empresas como mais inovadoras: empresas com um maior score na infraestrutura digital ou IIDi (separamos aqui o grupo de empresas com IIDi superior à média da amostra); empresas com um volume de negócios superior a 50 milhões de euros; e empresas pertencentes às CAE 24, 25 e 29. Nesta secção calculamos o resultado dos três indicadores compósitos de transformação digital para os cinco grupos de empresas identificados como tendo um maior nível de integração da tecnologia digital. As tabelas seguintes ilustram os cálculos para os referidos grupos de empresas.

Resultados IID para grupos de empresas	
Todas as empresas da amostra	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	0,981818182
A- Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,835648148
IID = H x A	0,820454545
Grupo 1 - Empresas com IIDi acima da média (0,825)	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	1
A- Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,987903226
IID = H x A	0,987903226
Grupo 2 - Empresas com VN igual ou superior a 50 Milhões (€)	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	1
A- Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,925
IID = H x A	0,925
Grupo 3- Empresas que operam na CAE 24	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	1
A- Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,8
IID = H x A	0,8
Grupo 4 - Empresas que operam na CAE 25	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	0,962962963
Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,783653846
IID = H x A	0,75462963
Grupo 5 - Empresas que operam na CAE 29	
H- Proporção de empresas com IIDi > 0.5	1
Intensidade média do IIDi dessas empresas	0,925
IID = H x A	0,925

Tabela 10 – Resultados IID para grupos de empresas| Fonte: Autor

Através da análise da tabela 10 observa-se que os grupos de empresas com IIDi acima da média, com um volume de negócios igual ou superior a 50 milhões de euros

ou que operam na CAE 29 têm um IID superior ao da amostra. Enquanto os grupos de empresas que operam na CAE 24 ou 25 têm um score IID inferior ao da amostra.

Resultados ICDFL para grupos de empresas	
Todas as empresas da amostra	
H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,763636364
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,761904762
ICDFL = H x A	0,581818182
Grupo 1- Empresas com IIDi acima da média (0,825)	
H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,870967742
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,800925926
ICDFL = H x A	0,697580645
Grupo 2- Empresas com VN igual ou superior a 50 Milhões (€)	
H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,8
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,875
ICDFL = H x A	0,7
Grupo 3- Empresas que operam na CAE 24	
H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,6
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,708333333
ICDFL = H x A	0,425
Grupo 4 - Empresas que operam na CAE 25	
H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,740740741
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,74375
ICDFL = H x A	0,550925926
Grupo 5 - Empresas que operam na CAE 29	

H- Proporção de empresas com ICDFLi > 0.5	0,8
A- Intensidade média do ICDFLi dessas empresas	0,8125
ICDFL = H x A	0,65

Tabela 11 - Resultados ICDFL para grupos de empresas | Fonte: Autor

A Tabela 11 mostra que o resultado do ICDFL é superior ao da amostra nos grupos de empresas com IIDi acima da média, com volume de negócios igual ou superior a 50 milhões de euros ou que operam na CAE 29. No entanto é inferior nos grupos de empresas que operam na CAE 24 e CAE 25.

Resultados IITD para grupos de empresas	
Todas as empresas da amostra	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	0,345454545
A- Intensidade média do IITDi dessas empresas	0,650877193
IITD = H x A	0,224848485
Empresas com IIDi acima da média	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	0,451612903
A- Intensidade média do IITDi dessas empresas	0,661904762
IITD = H x A	0,298924731
Empresas com VN igual ou superior a 50 Milhões (€)	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	1
A- Intensidade média do IITDi dessas empresas	0,773333333
IITD = H x A	0,773333333
Empresas que operam na CAE 24	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	0,4
A- Intensidade média do IITDi dessas empresas	0,566666667

IITD = H x A	0,226666667
Empresas que operam na CAE 25	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	0,37037037
A- Intensidade média do IITDi dessas empresas	0,623333333
IITD = H x A	0,230864198
Empresas que operam na CAE 29	
H – Proporção de empresas com IITDi > 0.5	0,8
A- Intensidade média do IITDi destas empresas	0,733333333
IITD = H x A	0,586666667

Tabela 12 - Resultados IITD para grupos de empresas | Fonte: Autor

Na tabela 12 observa-se que os resultados do indicador sobre a integração de tecnologia digital para os cinco grupos são superiores aos da amostra como um todo. O resultado IITD para amostra é de aproximadamente 0,22. Enquanto para o grupo de empresas com pontuação IIDi acima da média o resultado é aproximadamente 0,3; para empresas com um volume de negócios igual ou superior a 50 milhões o resultado é de aproximadamente de 0,77; para empresas que operam na CAE 24 e 25 cerca de 0,23 e por fim em empresas que operam na CAE 29 de 0,59.

Conclui-se, nesta secção e no que refere aos indicadores IID, ICDFL e IITD, que dois grupos de empresas se destacam, em relação à amostra como um todo e em relação aos outros grupos de empresas considerados, pelos níveis mais elevados de transformação digital que mostram ter: o grupo de empresas com um volume de negócios igual ou superior a 50 milhões e o grupo de empresas da CAE 29 (fabrico de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis).

Capítulo 5 – Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo fazer uma primeira avaliação da quarta revolução industrial no setor metalomecânico português. Para o efeito, foi feito um enquadramento teórico da quarta revolução industrial aplicada à indústria e desenvolveu-se um conjunto de indicadores no âmbito de um questionário conduzido a empresas do setor clientes do CATIM.

Nesta dissertação entendeu-se que a quarta revolução industrial é uma nova arquitetura tecnológica que integra quatro conceitos tecnológicos: i) A *IoT's*, ii) o *Big Data/Data Analytics*, iii) os *CPS's* e iv) as fábricas inteligentes. O esforço das empresas para implementar a quarta revolução industrial advém da necessidade de uma maior flexibilidade para conseguir responder aos mercados, que são cada vez mais voláteis, e da tentativa de aumentar o desempenho através da tecnologia. O objetivo último desta solução tecnológica que é a quarta revolução industrial passa por tentar, cada vez mais, descentralizar a tomada de decisão para sistemas (pessoas e máquinas) com maior capacidade de recolha, processamento e distribuição de informação do que os sistemas correntes.

Os indicadores para medir a quarta revolução industrial desenvolvidos no âmbito do questionário – IIDi e IID, ICDFLi e ICDFL, e IITDi e IITD - tiveram por base os indicadores contemplados no *DTS 2017* e o *MPI*. Os resultados do questionário conduzido às empresas clientes do CATIM mostram que estas empresas têm as infraestruturas digitais necessárias para a implementação da quarta revolução industrial, estão menos bem no que refere às competências digitais da sua força laboral e claramente pior no que refere à integração da tecnologia digital. Para a amostra como um todo, [IID; ICDFL; IITD] = [0,82; 0,58; 0,225].

Fazendo uso de uma análise regressão, foram identificados cinco grupos de empresas como tendo uma maior integração da tecnologia digital: empresas com IIDi acima da média, empresas com um volume de negócios igual ou superior a 50 Milhões

(€) e empresas que operam nas CAE 24, 25 e 29. Destes cinco grupos, dois destacam-se por cima nos três indicadores considerados: o grupo de empresas com um volume de negócios igual ou superior a 50 milhões, [IID; ICFL; IITD] = [0,925; 0,700; 0,773] e o grupo de empresas da CAE 29 (fabrico de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis), [IID; ICFL; IITD] = [0,925; 0,650; 0.587].

Como principais limitações da dissertação aponta-se a pequena dimensão da amostra (55 empresas respondentes ao questionário) e o facto da análise conduzida à relação das empresas na cadeia de valor não ter sido conclusiva.

Bibliografia

Addo-Tenkorang, R. & Helo, P. T., (2016). *Big Data applications in operations/supply-chain management: A literature review*. Computers and Industrial Engineering.

Alkire, S., & ME. Santos. (2010). *Acute Multidimensional Poverty: A New Index for Developing Countries. Background paper for the 2010 Human Development Report*. UNDP (United Nations Development Programme).

Banco de Portugal. (2015). **Análise setorial da indústria metalomecânica**. Estudos da Central de Balanços. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/estudos%20da%20cb%2020_2015.pdf

Banco de Portugal. (2017). **Análise setorial da indústria metalomecânica 2011-2016**. Nota de Informação Estatística. https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/documentos-relacionados/nie_estudo_20_2015.pdf

Cattaneo, O., Gereffi, G., Miroudot, S. & Taglioni, D., (2013). *Joining, Upgrading and Being Competitive in Global Value Chains: A Strategic Framework*. Policy Research Working Paper 6406. The World Bank.

Chien C., Hong, T. & Guo, H., (2017). *An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower Industry 3.5*. Journal of the Chinese Institute of Engineers.

Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. & Sarli, M., (2012). *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers and Chemical engineering.

De Backer, K. & Miroudot, S., (2013). *Mapping Global Value Chains*. OECD Trade Policy Papers, Nº 159. OECD Publishing.

De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M., (2015). *What is big data? A consensual definition and a review of key research topics*. AIP Conference Proceedings 1644.

European Commission. (2017). *Digital transformation Scoreboard 2017: Evidence of positive outcomes and current opportunities for EU businesses*.

European Commission. (2018). *Digital Economy and Society Index Report 2018 – Integration of Digital Technologies*.

Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S., (2016). *2016 Global Industry 4.0 Survey*. www.pwc.com/industry40

Gereffi, G. & Fernandez-Stark, K., (2016). *Global Value Chain Analysis: A Primer*. Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University.

Gereffi, G., Humphrey, J. & Sturgeon, T. (2005). *The governance of global value chains*. *Review of International Political Economy*. 12:1, 78-104, DOI: 10.1080/09692290500049805.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.

Kagermann, H., (2015). *Change through Digitalization – Value in the Age of Industry 4.0*. Management of Permanent Change.

Kagermann, H., Walhster, W. & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech.

Lawson, C., (2010). *Technology and the Extension of Human Capabilities*. Journal for the Theory of Social Behaviour.

Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2011). *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*. LeeSeshia.org.

Lee, J. S., Bagheri, B. C., Kao, A. (2015). *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters 3.

López, T. S., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2011). *Adding sense to the Internet of Things – An architecture for Smart Object systems*. Personal and Ubiquitous Computing, 16:291–308. Springer.

Mayer-Schönberger, V. & Cukier, K. (2014). *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. American Journal of Epidemiology.

Mazzucato, M., & Perez, C. (2014). *Innovation as Growth Policy: the challenge for Europe*. SPRU Working Paper Series. University of Sussex.

Monostori, L., (2014). *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. *Variety Management in Manufacturing*. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems.

OCDE. CVG's. <https://www.oecd.org/sti/ind/global-value-chains.htm>

Odważny, F., Szymańska, O. & Cyplik, P., (2018). *Smart Factory: The Requirements for Implementation of the Industry 4.0 Solutions in FMCG Environment – Case Study*. LogForum 14

PricewaterhouseCoopers. (2017). *Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing*.

Schwertner, K. (2017). *Digital Transformation of Business*. Trakia Journal of Sciences.

Tao, F., Qi, Q., Liu, A. & Kusiak, A., (2018). *Data-driven smart manufacturing*. Journal of Manufacturing Systems 48

Anexo I - Questionário

Secção 1 – Caracterização geral da empresa

Identificação da empresa	
Nome	
Concelho	
Ano de constituição	

Responsável pelo preenchimento do questionário	
Nome	
Função	
Contacto (telefone/e-mail)	

Atividade da empresa em 2017	Valor			
Produtos principais (descrição)				
Volume de negócios (milhões de €, assinalar intervalo aplicável com x)	Menos de 2	2 a menos de 10	10 a menos de 50	50 ou mais
Percentagem das exportações no volume de negócios (%)				
Número de colaboradores (assinalar intervalo aplicável com x)	Menos de 10	10 a menos de 50	50 a menos de 250	250 ou mais
Número aproximado do total de clientes (nº)				
Percentagem de novos clientes no total (%)				

Secção 2 – Transformação digital da empresa

* (No final do questionário encontra um conjunto de breves notas explicativas de suporte ao preenchimento desta Secção 2).

Dimensão	Questão	Sim	Não	NR/NS
1. Infraestrutura digital	1.1 A empresa tem conexão à internet com velocidade superior a 30 MB/s?			
	1.2 A empresa tem rede de internet sem fios?			
	1.3 A empresa usa algum <i>software</i> do tipo ERP ou equivalente? ¹			
	1.4 A empresa usa algum <i>software</i> de apoio à gestão de clientes? ²			
2. Competências digitais da força laboral	2.1 Mais de metade dos colaboradores tem competências em TIC (tecnologias de informação e comunicação)? ³			
	2.2 A empresa proporciona aos trabalhadores formação em TIC?			
	2.3 A empresa tem dificuldade em recrutar ou subcontratar recursos humanos com competências em TIC? ⁴			
	2.4 Os colaboradores usam aparelhos portáteis fornecidos pela empresa para comunicarem entre si e/ou com as máquinas? ⁵			
3. Integração da tecnologia digital	3.1 A empresa usa um <i>software</i> do tipo ERP ou equivalente para partilhar informações entre áreas funcionais? ⁶			
	3.2 A empresa usa código de barras nos produtos durante a produção? ⁷			
	3.3 A empresa usa tecnologia do tipo RFDI/ identificação por radiofrequência para identificação/monitorização dos produtos?			
	3.4 A empresa usa sensores, por exemplo, de temperatura para a monitorização dos produtos? ⁸			
	3.5 A empresa usa sensores para recolher informação sobre as máquinas utilizadas no processo produtivo? ⁹			

3.6 A empresa usa um <i>software</i> de apoio à gestão de clientes para caracterizar os perfis dos mesmos e para adequar e comercializar melhor os seus produtos? ¹⁰			
3.7 A empresa usa alguma rede social?			
3.8 A empresa usa tecnologia do tipo EDI ou equivalente no envio aos clientes de faturas para processamento automático (e-faturas)? ¹¹			
3.9 A empresa usa serviços de <i>cloud</i> para armazenamento de informação, para uso de <i>software as a service</i> ou para outros fins? ¹²			
3.10 A empresa faz vendas online?			
3.11 A empresa usa algum <i>software</i> do tipo MES (<i>Manufacturing Execution Systems</i>) ou equivalente? ¹³			
3.12 A linha de produção é flexível com recurso à tecnologia? ¹⁴			
3.13 A empresa partilha <i>softwares</i> /sistemas de informação, como CRM, MES e/ou ERP ou equivalentes, com clientes ou fornecedores? ¹⁵			
3.14 A empresa analisa a informação recolhida dos sensores das máquinas/objetos para prever a necessidade de manutenção das máquinas? ¹⁶			
3.15 A empresa utiliza a análise de dados para melhorar a eficiência energética? ¹⁷			

Secção 3 – Relação da empresa na cadeia de valor

Questão	Sim	Não	NR/NS
A empresa produz para uma empresa que é sua proprietária?			
Os produtos vendidos pela empresa variam consoante os clientes, isto é, são customizados e/ou seguem especificações dadas pelos clientes?			
As máquinas usadas no processo de produção são específicas, isto é, variam de acordo com as especificações dos produtos dadas pelos clientes?			

A maneira de produzir os produtos é decidida pela empresa, sem qualquer instrução dos clientes?			
A empresa tem muita rotatividade de clientes?			

FIM

¹3.3 *Software* do tipo ERP - *Enterprise Resource Planning*. Um *software* deste tipo ou equivalente organiza e integra a informação das diferentes áreas funcionais da empresa, apoiando a gestão de informação e a tomada de decisão. Pretende-se saber se a empresa usa este tipo de ferramentas para apoio à gestão de informação e tomada de decisão.

²1.4 *Software* do tipo CRM - *Customer Relationship Management*. Um *software* deste tipo ou equivalente regista informações sobre o perfil dos clientes como (ex: preocupações dos clientes, compras realizadas e outras informações). A ferramenta permite à empresa melhorar as relações com os clientes e apresentar propostas ou soluções de produção mais adequadas ao perfil dos mesmos.

³ 2.1 Pretende-se saber se a maioria dos colaboradores da empresa possui competências em TIC que facilitem o desempenho das suas funções na empresa. Dependendo das funções, estas competências podem ser no uso do Excel, do Word, do CAD, do CNC ou de outros *softwares* do tipo CRM e/ou o do tipo ERP ou equivalentes.

⁴2.3 Pretende-se saber se a empresa tem dificuldade em ter acesso a recursos humanos com competências em TIC, quer através de recrutamento, quer através do recurso a *outsourcing*.

⁵2.4 Pretende-se saber se há funções ao nível da empresa que são facilitadas através da interação via aparelhos portáteis com outros colaboradores e/ou com as máquinas. As interações com as máquinas podem traduzir-se em acesso a interfaces que permitem a visualização de informação das máquinas ou, através do aparelho portátil, ordenar a execução de comandos, como ligar e desligar.

⁶3.1 Pretende-se saber se a empresa usa um *software* do tipo ERP ou equivalente para apoio à tomada de decisão e/ou no desempenho de tarefas em determinadas áreas funcionais com recurso a informações que foram recolhidas noutras áreas.

⁷3.2 Pretende-se saber se a empresa usa a tecnologia de código de barras como alternativa à rádio frequência, uma vez que o metal pode interferir com a rádio frequência.

⁸3.4 Pretende-se saber se a empresa usa sensores na monitorização dos produtos durante a produção, distribuição ou pós-venda. Estes sensores podem ser de temperatura, de proximidade, de movimento ou outros.

⁹3.5 Pretende-se saber se a empresa usa sensores para monitorizar as máquinas e recolher informação sobre as mesmas que possa mais tarde ser utilizada pela empresa.

¹⁰3.6 Pretende-se saber se a empresa usa a informação registada nos *softwares* do tipo CRM - *Customer Relationship Management* – ou equivalente para fazer novas propostas de produção aos clientes existentes ou a novos clientes.

¹¹3.8 A tecnologia EDI - *Electronic Data Interchange* – ou equivalente permite a transferência de dados organizados de acordo com determinadas diretrizes de um computador para outro computador, sem intervenção humana, como é o caso das e-faturas.

¹²3.9 Pretende-se saber se a empresa usa a tecnologia *cloud*. Esta tecnologia permite armazenar dados ou usar serviços, como *softwares* ou *interfaces*, que são geridos por uma empresa especializada externa.

¹³3.11 Pretende-se saber se a empresa usa algum *software* do tipo MES - *Manufacturing Execution Systems* – ou equivalente. Estes são *softwares*/programas computadorizados que monitorizam e relatam o estado da produção de um produto em tempo real, desde a ordem de produção até o produto estar finalizado.

¹⁴3.12 Pretende-se saber se a tecnologia da empresa permite alterar a sequência do processo de produção do produto de acordo com as especificações da encomenda.

¹⁵3.13 Pretende-se saber se há integração e difusão da informação entre as várias empresas envolvidas na produção do produto final, através da partilha dos sistemas de informação.

¹⁶3.14 Pretende-se saber se a empresa recorre à análise dos dados recolhidos das máquinas para planear e agendar a sua manutenção.

¹⁷3.15 Pretende-se saber se a empresa consegue melhorar a fatura energética com o recurso à análise de dados, de forma a melhorar o planeamento da produção.

Anexo II – Lista das CAEs do Universo e Amostra

CAE 24 - Indústrias metalúrgicas de base

CAE 25 - Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos

CAE 26 - Fabricação de equipamentos informáticos, equipamento para comunicações e produtos eletrónicos e óticos

CAE 27 - Fabricação de equipamento elétrico

CAE 28 - Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e.

CAE 29 - Fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis

CAE 30 - Fabricação de outro equipamento de transporte

CAE 31 - Fabricação de mobiliário e de colchões

CAE 32 - Outras indústrias transformadoras

CAE 33 - Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

CAE 43 - Atividades especializadas de construção

CAE 46 - Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos

CAE 47 - Comércio a retalho, exceto de veículos automóveis e motociclos

CAE 71 - Atividades de arquitetura, de engenharia e técnicas afins;

atividades de ensaios e de análises técnicas ¹³²

¹³² Fonte: Instituto Nacional de Estatística. (2007). **Classificação Portuguesa das Atividades Económicas Rev.3.**
https://www.ine.pt/ine_novidades/semin/cae/CAE_REV_3.pdf