

A indústria 4.0 e o desafio sociodemográfico: Propostas para colocar o fator humano no centro da produção

Joel Marques Alves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2^o ciclo de estudos)

Orientadora: Prof.^a Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

junho de 2020

Para as pessoas mais importantes da minha vida,
pelo amor, dedicação, exemplo e incentivo,

Os Meus Pais

Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, à Professora Doutora Tânia Lima, pelo acompanhamento, orientação, empenho e profissionalismo demonstrado ao longo da minha dissertação. Agradecer, ainda, pela oportunidade que me proporcionou para desenvolver este trabalho e a motivação durante a sua elaboração.

Em segundo lugar, agradecer a todos os meus familiares e amigos pela força e apoio que me deram para a realização deste mestrado que termina com esta dissertação. Um especial agradecimento à minha amiga e colega de curso Laura, por todo o companheirismo e auxílio durante estes dois anos, pois a sua ajuda foi imprescindível para avançar nesta etapa da minha vida.

Por último, e com especial importância, um agradecimento do fundo do coração, aos maiores amores da minha vida, os meus pais. Por todo o carinho, dedicação e apoio que fizeram com que eu lutasse pelos meus objetivos e seguisse os meus sonhos. Sem eles nada disto seria possível de concretizar, e por isto, estar-lhes-ei eternamente grato.

Resumo

A era da digitalização impulsionada pela estratégia alemã, a Indústria 4.0, trouxe consigo a mudança de vários paradigmas, desde os problemas associados à sua implementação, aos novos modelos produtivos e à adaptação da força de trabalho a estas mudanças e alterações. Por outro lado, os problemas sociodemográficos estão cada vez mais presentes na atualidade, nomeadamente o envelhecimento da população e, conseqüentemente o prolongamento da vida ativa, tornando a força de trabalho existente nas empresas e indústrias mais envelhecida.

Posto isto, uma vez que os sistemas produtivos são mais exigentes e a força de trabalho presente nas indústrias está cada vez mais envelhecida, neste trabalho são propostas medidas para colocar o fator humano no centro da produção, acompanhando, também, o desenvolvimento da Indústria 4.0. Mais especificamente, a adaptação e envolvimento dos operadores mais velhos nos novos sistemas produtivos digitais. Para isso, é descrito o ambiente das futuras indústrias, as *smart factorires*, e também é apresentada a comparação dos trabalhadores mais velhos com o conceito do Operador 4.0, de forma a que seja possível coexistir uma produtividade elevada com a força de trabalho existente nas unidades fabris.

Palavras-chave

Indústria 4.0;Tecnologias da Informação e Comunicação;Operador 4.0;Desafios Sociodemográficos;Força de Trabalho Envelhecida;Fatores Humanos.

Abstract

Digitalization era pushed by the German strategy, Industry 4.0, brought paradigms changes: implementation's problems, the new productive models, and the workforce adaptation to these changes and alterations. On the other hand, the demographic problems are increasingly present today, including the aging population and, consequently, longer working life, that making the existing companies and industries' workforce more aged.

So, since the productive systems are progressively demanding and the present industries workforce is gradually aging, in this work are propose measures to place human factor at the center of production, also accompanying the Industry 4.0 development. More specifically, the elderly operator's adaptation and involvement in new digital production systems. For this, the future industries' environment is described, the smart factories, and is also made the comparison of older workers with the Operator 4.0 concept. Thus, it is possible coexist high productivity with the existing workforce in the factories.

Keywords

Industry 4.0;Communication and Information Technologies;Operator 4.0;Sociodemographic Challenges;Ageing Workforce;Human Factors.

Índice

Introdução	1
1.1 Contextualização do Trabalho Desenvolvido	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
Indústria 4.0	5
2.1 Conceito e Caracterização	5
2.2 Novo Paradigma Produtivo	7
2.3 Métodos de Produção e Smart Factories	11
2.4 Formação e Educação	15
Contexto Sociodemográfico da Indústria 4.0	19
3.1 Demografia	19
3.2 Operador 4.0	21
3.3 Operador 4.0 vs Força de trabalho envelhecida	25
Fator Humano no Centro da Produção	31
4.1 Casos Práticos de Aplicações	31
Proposta	37
5.1 Propostas aos desafios do envelhecimento da força de trabalho	37
Considerações Finais	45
6.1 Conclusões, desafios e limitações	45
6.2 Perspetivas futuras	46
Referências Bibliográficas	47

Lista de Figuras

Figura 1 – Tecnologias associadas à Indústria 4.0	5
Figura 2 - Diferentes nomenclaturas da Indústria 4.0	8
Figura 3 - Plataformas da Indústria 4.0	9
Figura 4 – Estratégia de implementação da Indústria 4.0	10
Figura 5 – Aplicação da Indústria 4.0: <i>Smart Factory</i>	13
Figura 6 – Representação esquemática da <i>Smart Factory</i>	15
Figura 7 – Taxa de Empregabilidade por idades em diversos países	20
Figura 8 - Evolução dos Operadores	22
Figura 9 - Tipologia do Operador 4.0	23
Figura 10 - Tecnologias potenciadoras das capacidades do Operador 4.0.....	24
Figura 11 - Centro de Engenharia de Fabricação da Hyundai.....	32
Figura 12 - Exemplo de adaptação do sistema produtivo: (A) Antes; (B) Depois	33
Figura 13 - (A) Protótipo do equipamento; (B) Simulação em Realidade Virtual.....	33
Figura 14 - Aplicação da utilização de diferentes tipos de exosqueletos	34
Figura 15 - Exosqueletos utilizados pelas indústrias automobilísticas da Ford e Hyundai	35
Figura 16 - Local de trabalho piloto, centrado no Homem, para fabricação de peças de aeronaves.....	36
Figura 17 - Exemplos de tecnologias propostas para os operadores envelhecidos (A) Cobots; (B) Exosqueletos; (C) Dispositivos Tecnológicos; (D) Dispositivo de Realidade Aumentada e Virtual;.....	40
Figura 18 - Dispositivos e tecnologias de monitorização testadas.....	41

Lista de Tabelas

Tabela 1 - <i>Soft Skills</i> para a Indústria 4.0.....	18
Tabela 2 – Estratégias adotadas	21
Tabela 3 - Alterações nas capacidades e habilidades humanas com o envelhecimento.	27
Tabela 4 - Propostas para colocar o Fator Humano no Centro da Produção.	43

Lista de Acrónimos

AGV	Veículos Guiados Automatizados
Cobots	Robôs Colaborativos
CPS	Sistemas Ciber-físicos
IoT	Internet das Coisas
PME's	Pequenas e Médias Empresas
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo apresenta-se a contextualização do trabalho desenvolvido, de forma a introduzir a temática a ser estudada, a definição de objetivos para a elaboração do trabalho, a metodologia utilizada e, ainda, a estrutura da presente dissertação.

1.1 Contextualização do Trabalho Desenvolvido

Com a Revolução Industrial emergiram inúmeras, rápidas e notáveis melhorias nos sistemas de fabricação e produção, alcançadas maioritariamente através da integração dos avanços tecnológicos ligados à informação, serviços e manufatura (Salkin *et al.*, 2018). Estes progressos e aperfeiçoamentos nos serviços e ambientes de fabricação levaram ao aumento da produtividade, após a divulgação da estratégia para a indústria Alemã, que, em simbiose e coordenação, conduziram ao aparecimento do termo Indústria 4.0, sendo destacado como uma das principais iniciativas de revolução industrial (Salkin *et al.*, 2018).

Tendo a Indústria 4.0, por base, os sistemas mais produtivos, as empresas e as indústrias têm adotado este conceito e ajustando-se gradualmente através da procura e adaptação mais correta deste termo, deparando-se com diversos paradigmas. Um desses paradigmas, que perdura até aos dias de hoje, é a força de trabalho existente nas indústrias estar cada vez mais envelhecida, e ao mesmo tempo, o sistema produtivo ser cada vez mais exigente, assim como a qualidade dos seus produtos finais (Calzavara *et al.*, 2019).

O envelhecimento da força de trabalho é causado pelo problema sociodemográfico existente, isto é, o envelhecimento em geral das populações e o aumento da idade média de aposentação dos mesmos, assim como, outros fatores, entre os quais, o aumento da esperança média de vida e o prolongamento da vida ativa como meio de sustentação do sistema de segurança social. Consequentemente, esta força de trabalho envelhecida implica um impacto no desempenho dos sistemas produtivos, a par do avanço tecnológico da Indústria 4.0 (Walker, 2015; Calzavara *et al.*, 2019).

Por isso, é necessário adotar estratégias produtivas que acompanhem o desenvolvimento da Indústria 4.0 e os seus paradigmas, principalmente estratégias centradas no fator humano como centro da produção. Assim, de modo a analisar a força de trabalho do

ponto de vista do sistema produtivo, é imperativo entender como os trabalhadores de idade mais avançada podem ser entendidos, apoiados e envolvidos num sistema produtivo de fabricação. Para tal, é fulcral a comparação e, posterior, interligação entre o Operador 4.0 com a força de trabalho envelhecida para que seja possível coexistir uma produtividade elevada com a força de trabalho existente nas unidades fabris (Calzavara *et al.*, 2019).

1.2 Objetivos

Geral:

- Propor estratégias para colocar o Fator Humano no Centro da Produção.

Específicos:

- Analisar as problemáticas resultantes do contexto sociodemográfico atual;
- Analisar o paradigma produtivo da Indústria 4.0, caracterizando o ambiente de trabalho nas *Smart Factories*;
- Caracterizar o perfil do Operador 4.0; e estabelecer uma comparação com o perfil do trabalhador industrial atual, com foco nas faixas etárias existentes no mercado laboral;
- Elaborar propostas com possíveis estratégias a adotar, que permitam facilitar a transição para o novo paradigma produtivo, em particular da força de trabalho mais envelhecida.

1.3 Metodologia

A escolha do método científico a utilizar é uma tarefa e um trabalho sistemático na busca de respostas para as questões propostas, por parte da observação organizada de factos e deduções lógicas para a comprovação científica dos resultados e formulação de teorias (Pereira *et al.*, 2018). Para a realização deste trabalho foi aplicado o método qualitativo, pois foca-se na interpretação dos dados descritivos que foram recolhidos através de pesquisa e revisão bibliográfica.

No desenvolvimento desta dissertação, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica, de maneira a adquirir uma perspetiva global acerca das propostas já existentes, limitações e questões acerca da temática não solucionadas (Botelho & Cruz, 2013). Assim, recorreu-se a vários motores de busca, o *ScienceDirect*, a *Web of Science* e a *Scopus*, do qual foram obtidos artigos. Para além disso, recorreu-se, ainda, a relatórios governamentais e institucionais.

Posto isto, foi utilizado uma mistura de metodologias: a exploratória e a de estudo de caso com o intuito de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias com o objetivo de elaborar problemas e respostas mais exatos, e por outro lado, realizar um estudo profundo, exaustivo e mais detalhado sobre a temática de interesse, levando a uma investigação mais complexa que nos leva a construção de várias hipóteses e propostas (Botelho & Cruz, 2013).

Por fim, para a normalização das referências bibliográficas procedeu-se à utilização do software *Mendeley* com aplicação do estilo de referênciação *Harvard*.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada por 6 capítulos, tendo, por início, o capítulo 1, a introdução no qual é apresentada a contextualização do trabalho desenvolvido e a definição dos objetivos pretendidos com este trabalho, de forma a enquadrar temática estudada, a sua importância e relevância na sociedade e, particularmente, nas unidades fabris. Neste capítulo, ainda é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento e realização do trabalho, assim como, a sua estruturação.

Os capítulos 2, 3 e 4 correspondem à revisão bibliográfica acerca da Indústria 4.0, o Contexto Sociodemográfico e o Fator Humano no Centro da Produção, respetivamente. No capítulo 2 será tratada a temática sobre a Indústria 4.0, onde é realçado o novo paradigma produtivo, assim como a introdução de novos métodos produtivos e a ideia fulcral da formação e educação para estes novos métodos produtivos. O capítulo 3, descreve o contexto sociodemográfico, no qual são analisados os problemas atuais acerca do envelhecimento populacional e as suas implicações a nível industrial; é ainda analisado e caracterizado o Operador 4.0, comparando-o à força de trabalho envelhecida. De seguida, no capítulo 4, são analisados casos práticos de aplicações da colocação do fator humano no centro da produção, de maneira a deslindar os paradigmas e desafios ainda existentes.

Por fim, o capítulo 5 e 6 são apresentadas as propostas com possíveis estratégias a adotar de modo a que a força de trabalho envelhecida seja envolvida nos diversos sistemas produtivos e, concluindo, com as respetivas considerações finais e limitações existentes para a aceitação e aplicação destas mesmas estratégias. Ainda no capítulo 6, estão incluídas algumas ideias, sugestões e perspectivas de trabalhos futuros a desenvolver para que estas estratégias e propostas possam ser postas em prática e sejam exequíveis.

A dissertação termina, assim, com as referências bibliográficas, onde são apresentados todos os recursos da pesquisa científica utilizados para a sua elaboração.

Capítulo 2

Indústria 4.0

O capítulo 2 introduz a temática e aspetos fundamentais que envolvem a Indústria 4.0. São apresentados o conceito e caracterização desta, o novo paradigma produtivo introduzido por esta estratégia industrial, os métodos de produção nas *Smart Factories* e os novos desafios para a formação e a educação dos trabalhadores.

2.1 Conceito e Caracterização

O conceito “Indústria 4.0” foi primeiramente introduzido durante uma feira em Hanôver, em 2011, tendo sido posteriormente anunciada de forma oficial, em 2013, como uma estratégia alemã que se tornou pioneira na revolução industrial no setor dos serviços, fabricação e manufatura (Xu, Xu & Li, 2018). A Indústria 4.0 está associada à 4ª revolução industrial e representa a tendência que as tecnologias da informação e comunicação (TIC) apresentam para a constituição de bases que desencadeiam a criação e desenvolvimento de tecnologias inovadoras industriais futuras. Estas novas tecnologias residem no foco do desenvolvimento, na produção, na fabricação e nos serviços, e muitas delas são descritas como computadorizadas e facilitadoras, uma vez que proporcionam a automação industrial; estas incluem os Sistemas Ciber-físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), a “Cloud Computing”, isto é, a computação em nuvem, entre outras conforme ilustrado na figura 1 (Salkin *et al.*, 2018; Dalmarco *et al.*, 2019).



Figura 1 – Tecnologias associadas à Indústria 4.0 (Adaptado de Dalmarco *et al.*, 2019)

Estas tecnologias são normalmente aplicadas e associadas à Indústria 4.0, e apresentam diferentes características e funcionalidades, que podem ou não estar em simbiose no ambiente industrial. A simulação consiste na virtualização do design do produto, dos processos e do layout da fábrica, permitindo assim realizar testes virtuais antes da sua aplicação real. O “Big Data” corresponde a um conjunto de ferramentas tecnológicas com capacidade de processar e analisar volumes de dados bastante elevados, permitindo a identificação de falhas e erros, assim como, hábitos e preferências; a computação em nuvem são serviços que fornecem acesso a máquinas, a sistemas, a *software* e a ferramentas através da utilização de redes como a IoT. Os CPS permitem a integração de entidades computacionais físicas, como máquinas, robôs, sensores, entre outros, que interagem através de redes virtuais. Estes incluem máquinas inteligentes, isto é, sistemas de armazenamento ou instalações de produção que contêm autonomia e inteligência com capacidade de tomada de decisões e execução de ações. A cibersegurança, tal como o nome indica, são serviços tecnológicos com o intuito de proteção dos utilizadores, dos sistemas, dos equipamentos, das redes e da informação industrial contra qualquer invasão maliciosa ou invasão ilícita. A robótica colaborativa, consiste na operação de robôs em processos físicos automatizados que podem ou não interagir com operadores humanos, adotando um comportamento de autoaprendizagem. A realidade aumentada caracteriza-se pela integração de informações virtuais com o mundo real, isto é, no contexto industrial, permitindo a interação e o processamento em tempo real. A tecnologia de fabricação aditiva consiste, maioritariamente, na produção de objetos através da impressão em camadas com o objetivo de reduzir o desperdício. A integração de sistemas, constitui a incorporação de todo o tipo de dados e informação, com recurso à IoT, relativa a uma indústria ou empresa ao longo de toda a cadeia de valor (Salkin *et al.*, 2018; Dalmarco *et al.*, 2019; Büchi, Cugno & Castagnoli, 2020).

O uso destas tecnologias provocou uma enorme mudança no setor produtivo e de fabricação a nível industrial, desafiando as indústrias e criando paradigmas acerca da Indústria 4.0, sendo estes fomentados pelo constante desenvolvimento e evolução das TIC (Xu, Xu & Li, 2018). Exemplo disso, é a possibilidade de conversão dos dados analógicos para dados digitais que permitem uma otimização eficiente dos processos produtivos (Schroeder, 2016). Estes avanços tecnológicos da Indústria 4.0 surgiram como uma solução muito viável para as empresas e indústrias que ambicionavam uma maior eficiência, produtividade, competência, flexibilidade e competitividade, de forma a se tornarem empresas líderes nos complexos ecossistemas industriais atuais (Xu, Xu & Li, 2018; Dalmarco *et al.*, 2019).

O termo Indústria 4.0 tem, ainda, associado inúmeros conceitos a ele inerentes, inclusive, a automação, o *networking*, ou seja, o funcionamento do trabalho em rede, e, a digitalização. Este último, revela grande interesse e notoriedade, e, caracteriza-se por impulsionar a fabricação digital através da interligação dos produtos, das cadeias de valor e dos modelos de negócio (Klitou *et al.*, 2017a). Ou seja, na Indústria 4.0, um dos principais objetivos é a conjugação abrangente de todos os elementos relacionados com a cadeia de valor, desde as matérias-primas até ao cliente, incluindo ainda, toda a logística associada aos processos e serviços (Schroeder, 2016).

Cada vez mais tem sido reconhecido o impacto da Indústria 4.0 no desenvolvimento industrial global, assim como, a procura crescente da sua aplicação da forma mais correta e, consecutivamente, da necessidade de estudos relacionados com a mesma, a fim de esclarecer os desafios e os paradigmas, de modo a solucionar questões relacionadas com o design, a implementação e a gestão da Indústria 4.0 (Xu, Xu & Li, 2018).

2.2 Novo Paradigma Produtivo

A Indústria 4.0 está comumente associada a uma 4^a Revolução Industrial, no entanto, esta possui mais traços de evolução, uma vez que é um processo evolutivo através do constante desenvolvimento das tecnologias básicas e, por outro lado, na manutenção e otimização do fluxo da cadeia de valor (Schroeder, 2016; BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016).

Apesar da comunicação da ideia revolucionária da Indústria 4.0 ter sido bem sucedida, a verdadeira prática desta ideologia está subdesenvolvida (Schroeder, 2016). A implementação desta estratégia nas indústrias e empresas é um processo difícil de garantir, e é um dos paradigmas mais presentes na atualidade. Isto deve-se ao facto de se constatar uma lacuna no que diz respeito à falta de requisitos, de padrões de normalização e de um quadro legal vinculativo à Indústria 4.0, assim como a falta de protocolos uniformizados que permitam garantir a segurança de dados e ultrapassar os problemas de compatibilidade entre os diferentes tipos de *software* utilizados, e principalmente, a falta de capital para investir e manter esta estratégia (Schroeder, 2016).

De modo a contrariar estes problemas, a indústria Alemã tem adotado a implementação da Indústria 4.0 através de uma abordagem intersetorial, de forma gradual e a longo prazo, de diversos conceitos como a tecnologia, normalização, os modelos de negócios, os centros de investigação e universidades, e, ainda, a integração de indústrias para uma implementação prática, inclusive pequenas e médias empresas (PME's) (BITKOM,

VDMA & ZVEI, 2016; Klitou *et al.*, 2017a). De uma forma mais simplificada, a dupla estratégia Alemã baseia-se no objetivo de liderança do mercado mundial como principal fornecedor de tecnologias de produção inteligentes, e, por outro lado, manter o desenvolvimento contínuo da fabricação com recurso a estas tecnologias de produção, de modo a torná-la mais atraente e competitiva (BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016).

A Indústria 4.0 e a digitalização tem sido cada vez mais um tópico transversal pelo mundo inteiro, no entanto, é designado de diferentes formas dependente da localização. A figura 2 representa as diferentes nomenclaturas em diversos países (Bossard Group, 2018).



Figura 2 - Diferentes nomenclaturas da Indústria 4.0 (Adaptado de Bossard Group, 2018)

Para que esta implementação seja mais eficaz e eficiente, criaram-se plataformas para a Indústria 4.0 com o objetivo de impulsionar estruturalmente a revitalização da indústria, com o progresso tecnológico e social, melhorando, assim, a permeabilidade do processo de trabalho (Schroeder, 2016). Estas plataformas e ideologias Alemãs pioneiras como a “Industrie 4.0” foram transpostas para iniciativas governamentais, tendo já sido aplicadas em diversos países europeus, como a “Factories of the Future” pela Comissão Europeia, “Catapult” pelo Reino Unido, “Industrie du Futur” na França, “Smart Industry” na Holanda, “Impresa 4.0” pela Itália e “Portugal i4.0” em Portugal, como representado na figura 3 (Klitou *et al.*, 2017b; EU Automation, 2018; Dalmarco *et al.*, 2019).

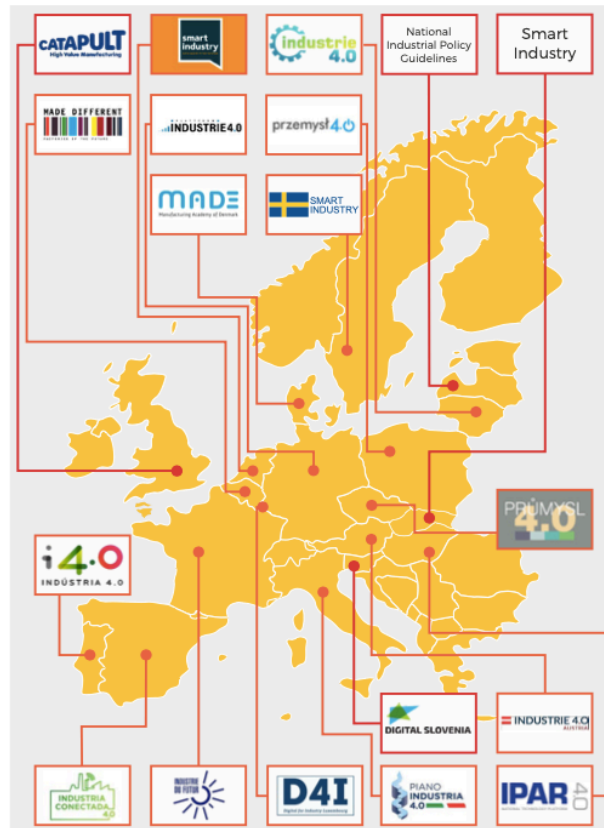


Figura 3 - Plataformas da Indústria 4.0 (Adaptado de EU Automation, 2018)

A plataforma “Industrie 4.0” tem o objetivo de elaborar a estratégia de implementação da Indústria 4.0 através da digitalização a partir das redes e cadeias de valor agregado que levam a novos fluxos de valor, a redes que são automatizadas devida a esta mesma digitalização, e que se baseia principalmente em 4 componentes fundamentais: a investigação e inovação, o referencial normativo e padronização, a segurança para os sistemas de rede e, por fim, as condições jurídico-legais (BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016).

Uma das componentes mais importante e de grande relevância para esta implementação, tal como demonstrado na figura 4, é a investigação e a inovação, que se concentra em vários pontos. Primeiro, a integração horizontal através de redes de criação de valor, que se baseia na colaboração das empresas e na inclusão de métodos para novos modelos de negócio. Em segundo lugar, a engenharia ao longo de todo o ciclo de vida, ou seja, o uso apropriado da engenharia para o design do produto e dos processos produtivos, assim como, a criação de posições técnicas e estratégicas para a avaliação integrada dos sistemas. Ainda, em terceiro, a integração vertical e sistemas de produção em rede, através da criação de redes de produção em tempo real e, a adaptabilidade necessária para a concretização dos requisitos de segurança produtiva. Para além disso, é necessário tem em conta as novas infraestruturas para o trabalho de forma a garantir a evolução da

vida profissional, a utilização de sessões de formação e aprendizagem, mas fundamentalmente, mantendo as pessoas como fator chave para o sucesso. Finalmente, o desenvolvimento contínuo das tecnologias transversais associadas à Indústria 4.0 (BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016; Salkin *et al.*, 2018).

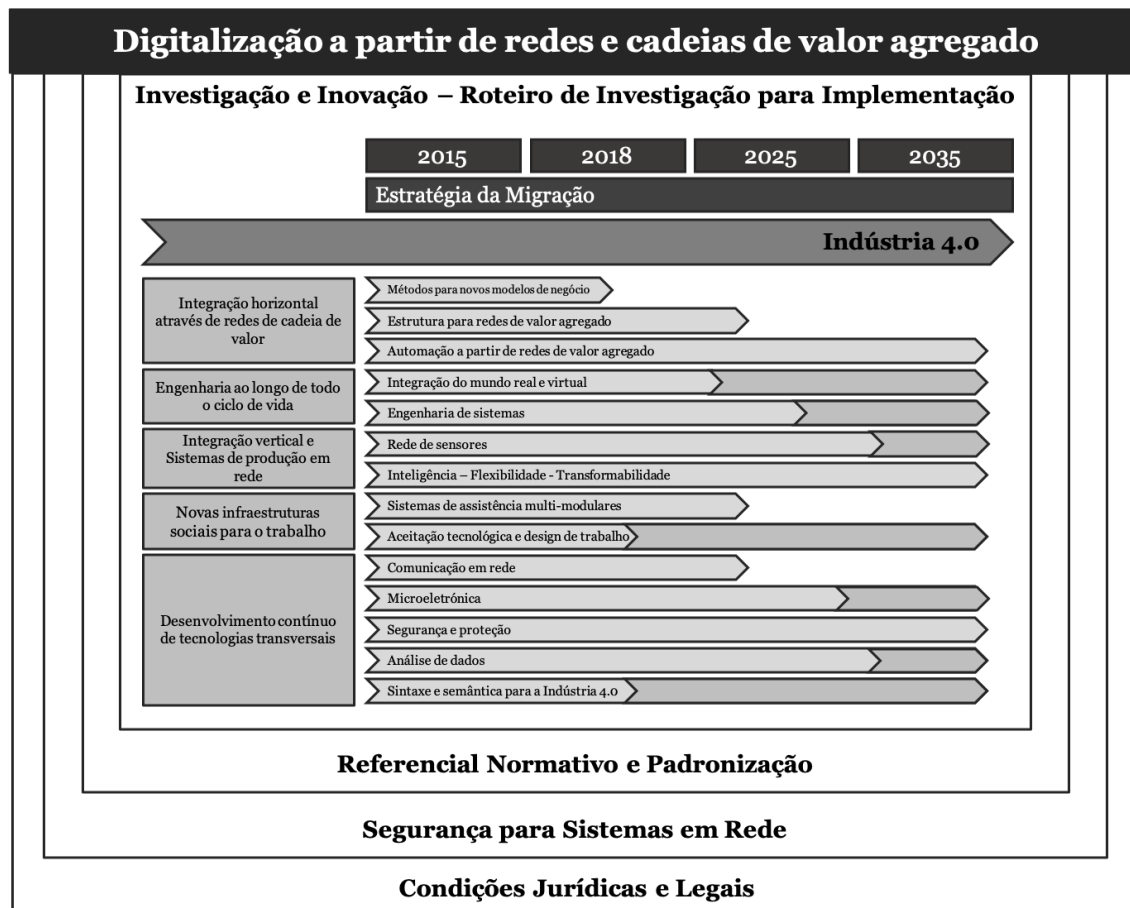


Figura 4 – Estratégia de implementação da Indústria 4.0 (Adaptado de BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016)

Com a utilização funcional destas plataformas é possível alcançar oportunidades para aumentar a competitividade industrial, através da otimização de recursos, processos produtivos mais eficientes, que, por sua vez, permite produzir unidades únicas ou lotes reduzidos que possibilitam a aceitação dos requisitos dos clientes, mantendo a ligação com estes de forma mais direta e direcionada às suas necessidades; também, a nível logístico, a amplificação do fluxo de bens e informação que, entre outros benefícios, permitem a acessibilidade a toda a informação, sendo exequível as tomadas de decisão antecipadas (Schroeder, 2016; BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016). No entanto, a Indústria 4.0 depende da comunicação segura e da cooperação de todos os intervenientes (BITKOM, VDMA & ZVEI, 2016).

Por outro lado, as mudanças na produção industrial e as novas tecnologias resultantes da Indústria 4.0, leva a diversas transformações e a consequências que podem ser discutidas como possíveis ameaças, benefícios e/ou soluções. Um desses efeitos é o impacto sobre os trabalhadores, isto é, sobre a força de trabalho existente no ambiente industrial (IndustriALL Global Union, 2017). Este impacto foi notório com a introdução do motor a vapor na primeira revolução industrial, com as linhas de montagem na segunda, e com a introdução de computadores e dispositivos eletrônicos na produção na terceira. No entanto, existe uma preocupação acrescida associada a esta 4ª revolução industrial, que se revela na velocidade e no impacto duradouro e significativo que causa na economia e conseqüentemente na disparidade mundial, na sociedade e na força de trabalho. É de realçar que alguns empregos serão transformados, outros perdidos e, outros serão criados, porém, é imperativo insistir para que o fator humano seja o centro da produção (IndustriALL Global Union, 2017; Calzavara *et al.*, 2019).

Além disso, é necessário ter em conta os problemas demográficos que se estão a verificar ao longo do tempo, relativamente à força de trabalho, que está cada vez mais envelhecida (Walker, 2015). Esta problemática é um dos novos paradigmas produtivos da Indústria 4.0, pois é necessário adaptar a força de trabalho existente nas indústrias, com a nova geração de sistemas industriais criados, como as fábricas inteligentes ou *Smart Factories* que servem para lidar com a complexidade da produção no ambiente ciber-físico (Xu, Xu & Li, 2018; Calzavara *et al.*, 2019).

2.3 Métodos de Produção e *Smart Factories*

Atualmente, existe uma mudança paradigmática associada à Indústria 4.0, mais especificamente, devido à complexidade da produção, uma vez que, cada vez mais subsiste uma enorme variabilidade de produtos, altamente customizados e, ao mesmo tempo, apresentam ciclos de vida mais curtos. Posto isto, é necessária uma transformação e adaptação das indústrias para as necessidades emergentes e, por isso, é requerida uma estrutura de produção mais ágil e flexível que pode ser aprimorada através da aplicação e desenvolvimento de conceitos como produtos e processos inteligentes em todas as funções e principais serviços (Weyer *et al.*, 2015; Salkin *et al.*, 2018).

Isto só acontece recorrendo à interoperabilidade da Indústria 4.0, garantindo que os vários componentes da rede e cadeia de valor, como os sistemas de controlo, os equipamentos e as máquinas inteligentes, os materiais e os produtos inteligentes, os fornecedores inteligentes, os clientes, sistemas de decisão e recursos humanos possam interligar-se entre si, comunicar e compartilhar os dados de forma mais coordenada,

eficaz, em tempo real, e, em larga escala (Ghobakhloo, 2020). A figura 5 ilustra esta interligação entre os vários agentes.

Os processos de fabricação inteligentes são sistemas de produção tecnológicos, totalmente integrados e colaborativos, que podem responder em tempo real às diferentes exigências e condições industriais, redes de abastecimentos e necessidades do cliente, tornando-se, assim, adaptáveis e diversificados (Wiktorsson *et al.*, 2018).

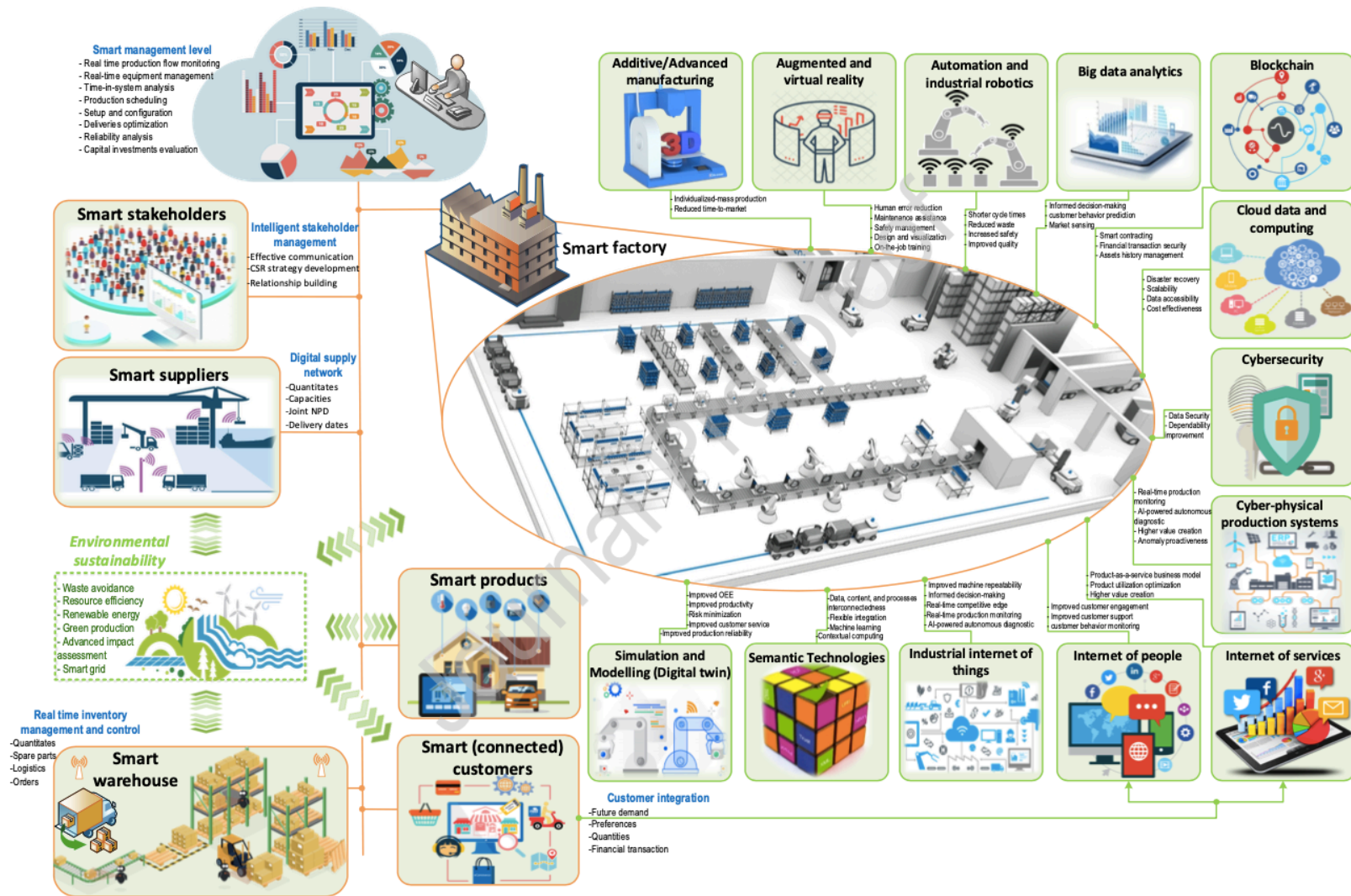


Figura 5 – Aplicação da Indústria 4.0: *Smart Factory* (Ghobakhloo, 2020)

Esta estratégia leva à conversão e transformação das indústrias tradicionais em indústrias inteligentes, normalmente definidas como *Smart Factories*, que se focam na promoção da inovação estratégica do desenvolvimento dos produtos e dos processos industriais inteligentes através da convergência das pessoas, dos processos, da tecnologia e da informação (Weyer *et al.*, 2015; Wiktorsson *et al.*, 2018).

A *Smart Factory*, também designada por fábrica digital ou inteligente, descreve-se como um estado futuro de um sistema de produção e fabricação totalmente ligado entre si, realizando a produção, a gestão, a transferência e processamento dos dados necessários para a realização de todas as tarefas produtivas (Wiktorsson *et al.*, 2018; Osterrieder, Budde & Friedli, 2020). Além disso, inicialmente, definiu-se como um ambiente de produção onde os processos produtivos e humanos eram suportados por sistemas inteligentes computacionais, de modo a garantir um fluxo de produção contínuo, e, assim, atingir um melhor desempenho e uma maior qualidade. No entanto, atualmente, acredita-se na cooperação autónoma de todos os equipamentos produtivos, através da utilização e análise de dados provenientes de inúmeros sensores, uma vez que, as máquinas se encontram equipadas com estes sensores para receber, enviar, processar dados e acionar tarefas. Todos estes equipamentos têm ainda a capacidade de comunicar entre si e, são configurados e programados para atingir o mesmo objetivo através de um sistema que é monitorizado por uma entidade superior, podendo ser um modelo de *software*, o ser humano ou uma combinação de ambos (Osterrieder, Budde & Friedli, 2020).

Este conceito pode ser descrito, ainda, como uma estrutura de uma planta ou plano de produção que é composta por quatro camadas interativas distintas (figura 6): a camada física que corresponde a todo o equipamento industrial presente no chão de fábrica, assim como todos os processos e tarefas industriais; a camada “Data” correspondente à transferência de dados entre os sensores incorporados nas máquinas com a computação em nuvem, como uma interface de dados e informação; a camada de “Cloud” e inteligência onde são incorporados os dados e onde estes podem ser analisados, processados e armazenados temporariamente; e, por fim, no topo, a camada de controlo, que tal como o nome indica, é a camada de supervisão de toda a fábrica inteligente (Osterrieder, Budde & Friedli, 2020).

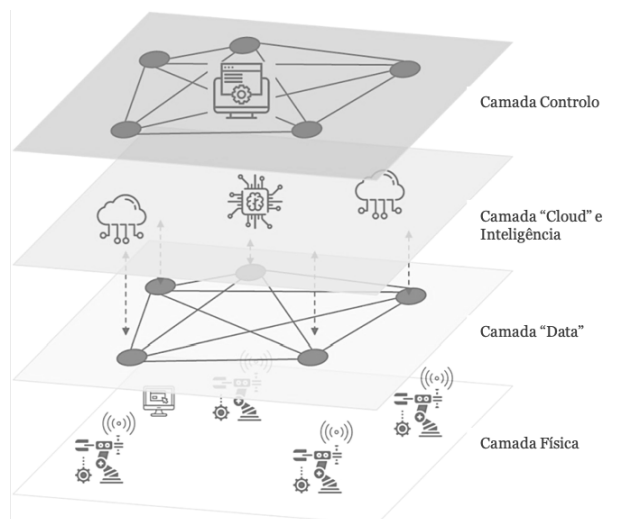


Figura 6 – Representação esquemática da *Smart Factory* (Adaptado de Osterrieder, Budde and Friedli, 2020)

Com a chegada das fábricas inteligentes e de todos os aspetos centrais e fulcrais da temática acerca da Indústria 4.0, apareceram novos conceitos e paradigmas que se revelaram importantes e promissores para que esta estratégia seja bem-sucedida: o Produto Inteligente, a Máquina Inteligente e o Operador Aumentado (Weyer *et al.*, 2015; Ghobakhloo, 2020). O Produto Inteligente consiste na colocação do objeto de trabalho como uma parte ativa do sistema, isto é, tornar o produto mais autónomo e automatizado, através da inserção de memória para dados e requisitos operacionais na sua construção/produção individual, para que, dessa forma, o produto a ser desenvolvido possa solicitar os seus recursos necessários e orquestrar a sua própria produção contínua. A Máquina Inteligente vai de encontro à aplicação dos recursos tecnológicos da Indústria 4.0, isto é, aos CPS, para uma automação, auto-organização e capacitação de comunicação integrada em rede com todos os dispositivos e equipamentos produtivos, de modo a tornar as linhas de produção mais flexíveis e modulares. Por último, o Operador Aumentado, é todo o suporte tecnológico necessário ao trabalhador para o auxiliar no ambiente dos sistemas de produção ciber-físicos. A adaptação do operador humano a este novo ambiente de trabalho é cada vez mais desafiadora, no entanto os trabalhadores são reconhecidos como as partes mais flexíveis e adaptáveis ao sistema de produção (Weyer *et al.*, 2015).

2.4 Formação e Educação

A dinâmica da maioria das empresas foi alterada devido aos avanços tecnológicos introduzidos pela Indústria 4.0, e, sendo assim, a sua sustentabilidade e vantagem competitiva depende da capacidade de adaptação a estas mudanças, principalmente com o desenvolvimento dos novos modelos de negócio e da sua automação, que impõem

novos requisitos nas capacidades digitais da força de trabalho existente nas empresas e indústrias. Este conjunto de habilidades digitais vão transformar como e onde as pessoas trabalham, pois, futuramente, é necessário adaptar e treinar a força de trabalho já existente, assim como recrutar novos funcionários através de programas de treino, e, ainda, redesenhar processos de trabalho (Karacay, 2018).

Portanto, o papel do fator humano é de grande importância na implementação e sustentabilidade desta estratégia, principalmente as suas capacidades e qualificações que serão a chave para o sucesso de uma fábrica inteligente e inovadora. Por esse motivo, a gestão de recursos humanos tem de se focar na gestão e desenvolvimento da força de trabalho qualificada de duas formas distintas: através da seleção, contratação de novos funcionários, e, também, no desenvolvimento e evolução dos seus recursos humanos através da educação, aprendizagem e formação dos seus operadores (Benešová & Tupa, 2017). Embora os recentes avanços nas tecnologias digitais possam trazer alguns possíveis deslocamentos e perdas de empregos, principalmente em setores onde a automação pode prevalecer, a digitalização e a Indústria 4.0 também podem ser um ponto positivo para a criação de emprego em novas funções, uma vez que os trabalhadores apresentam uma enorme vantagem relativamente às tarefas cognitivas, como a criatividade, a percepção e a inteligência social (Karacay, 2018).

Em contrapartida, a necessidade do envolvimento dos profissionais em problemas específicos de tarefas em grupo é cada vez mais sentida, e, por isso, surgiram as *Learning Factories*. Estas apareceram com o intuito de permitir praticar o conhecimento técnico existente através da familiarização com as tecnologias digitais e do desenvolvimento das habilidades pessoais. Além disso, permitem às indústrias criar parcerias e partilhar de conhecimento com os institutos educacionais, permitindo, assim, a todos os envolvidos, uma tomada de conhecimento prático e vivências industriais mais realistas. Para as empresas e para as indústrias existe a possibilidade de explorar e desenvolver tecnologias, e para as instituições de ensino e investigação facilitar o processo de ensino através do conhecimento prático de casos reais e do funcionamento do ambiente industrial (Mourtzis *et al.*, 2018). Estas *Learning Factories* são promissoras para o desenvolvimento de conhecimento e para a implementação de novos processos de aprendizagem, e, estão também normalmente associados à Educação 4.0 (Mourtzis *et al.*, 2018; Benešová & Tupa, 2017).

A Educação 4.0 consiste na combinação das informações e dos dados do mundo real e virtual na vertente do ensino, pois o conhecimento, as qualificações e a formação pessoal são uma parte essencial da Indústria 4.0. Para isso, inicialmente, serão utilizados os

ambientes virtuais de aprendizagem, para a transferência de habilidades e conhecimentos, e, posteriormente, será implementada e utilizada a realidade aumentada. Estes dois tipos de educação são muito dispendiosos e, por isso, de difícil aplicação, no entanto, permitem a educação e sessões de formação para os operadores industriais (Benešová & Tupa, 2017).

Ainda assim, a era da Indústria 4.0 apresenta alguns requisitos ao nível da educação: primeiro, relativamente ao contexto educacional, este tem de ser direcionado para a inovação, tecnologia computacional, análise de dados e operacionalização automatizada; de seguida, a aplicação das tecnologias *e-learning*, isto é, a aprendizagem tecnológica com recurso à realidade virtual e aumentada, a *gamification* e a análise da aprendizagem; finalmente, a aprendizagem de trabalho em equipas interdisciplinares (Cevik Onar *et al.*, 2018).

A formação e a educação têm de ser direcionadas para a criação de competências específicas: técnicas, metodológicas, sociais e de autogestão. As competências técnicas incluem as competências especializadas para áreas específicas e as competências adquiridas no âmbito profissional, isto é, a capacidade, execução e experiência de trabalho. As competências metodológicas são as habilidades analíticas, estatísticas e de tomada de decisão. As competências sociais correspondem às habilidades de gestão de equipas, resolução de problemas, trabalho em equipa, e capacidade de comunicação. Por fim, as competências de autogestão que são definidas pela auto-organização, criatividade, capacidade de trabalho e de aprendizagem, e, abertura e disponibilidade para mudanças (Schinner *et al.*, 2017). Para além disso, a formação e educação com a finalidade específica de aplicação na fabricação tem de se focar em 3 pilares fundamentais de competências: as STEM, correspondente à Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, as MES que contempla a Mecânica, Eletrónica e *Software*, e, por fim, as *Soft Skills* (Ras *et al.*, 2017).

Para além das habilitações académicas e do conhecimento técnico e teórico, cada vez mais as *soft skills* revelam ter uma maior importância para a indústria e empresas, principalmente aquelas que demonstram a capacidade de tomadas de decisão complexas. Estas estão por base das experiências dos operadores e encontram-se descritas na tabela 1 (Bongomin *et al.*, 2020).

Tabela 1 - *Soft Skills* para a Indústria 4.0 (Bongomin *et al.*, 2020).

Soft Skills para a Indústria 4.0
Adaptabilidade e capacidade de mudança; Autogestão e organização; Trabalho em equipa; Habilidades sociais e de comunicação; Criatividade; Liderança; Pensamento de melhoria contínua e formação ao longo da vida; Capacidade de tomadas de decisão; Autonomia; Flexibilidade; Pensamento crítico; Responsabilidade e confiança.

Capítulo 3

Contexto Sociodemográfico da Indústria 4.0

Neste capítulo é abordado o contexto sociodemográfico existente, assim como o seu efeito no mundo de trabalho. Para além disso, explica-se e caracteriza-se o Operador 4.0, realizando-se, ainda, uma comparação deste com a força de trabalho envelhecida, cada vez mais presente nas empresas e indústrias.

3.1 Demografia

Ao longo do tempo, as mudanças demográficas, como a taxa de natalidade em decadência, o envelhecimento da população, a dificuldade de os sistemas de segurança social conseguirem assegurar o pagamento das pensões, entre outros, têm-se tornado pontos importantes de debate público na sociedade. Existem muitos fatores que contribuem para o desenvolvimento demográfico: a taxa de natalidade, a composição do agregado familiar, a estrutura etária da população total, a definição e quantificação da população ativa e da sua força de trabalho correspondente e, ainda, a população aposentada. Estas alterações no desenvolvimento demográfico geram algumas controvérsias a nível social, político e económico, e, conseqüentemente, geram obstáculos para o futuro (Buck, Kistler & Mendius, 2002).

Um dos problemas que tem despertado grande interesse aos governos, instituições, investigadores e profissionais de empresas e indústrias é o envelhecimento da população (Walker, 2015; Calzavara *et al.*, 2019). Este envelhecimento populacional pode ser explicado pela diminuição das taxas de natalidade e pelo aumento da esperança média de vida. Através da análise dos desenvolvimentos demográficos na União Europeia, estima-se que, de 2013 até 2060, haja um crescimento da população de aproximadamente 15,6 milhões de pessoas, sendo que 10% deste crescimento seja de idosos, isto é, de pessoas com 65 anos ou mais, e que a população em idade ativa irá decrescer 9,4%. O mesmo se verifica noutros países, por exemplo, nos EUA, que em 2016, 18,6% da força de trabalho existente correspondia a pessoas com mais de 65 anos, e, estima-se que até 2026 este valor cresça 0,6% por ano. Outro país, ainda com valores consideráveis, é o caso do Japão, que em 2014, 25% da população tinha 65 anos ou idade superior, e em 2060 é estimado um valor percentual a rondar os 40% (Calzavara *et al.*, 2019).

O envelhecimento da população é uma mudança demográfica que se reflete com grande pertinência na força de trabalho, uma vez que existe um prolongamento da vida ativa como meio de sustentação da segurança social, e, consecutivamente há um aumento da idade de aposentação, isto é, cada vez mais tarde é conseguido o acesso à reforma (Calzavara *et al.*, 2019). Esta situação veio criar um paradoxo entre a empregabilidade e o envelhecimento, no qual, a força de trabalho envelhecida existente nas empresas e indústrias é bastante significativa. Na figura 7 está representada a taxa de empregabilidade no ano de 2014, em diferentes faixas etárias, compreendidas entre os 55 e os 69 anos, em diversos países, onde se verificam elevadas taxas de empregabilidade para a faixa etária entre os 55 e os 59 anos. No caso de Portugal, é de realçar a taxa de empregabilidade de aproximadamente 60% para idades compreendidas entre os 55 e os 59 anos, e de quase 40% para o intervalo de 60 a 64 anos (Jones *et al.*, 2016).

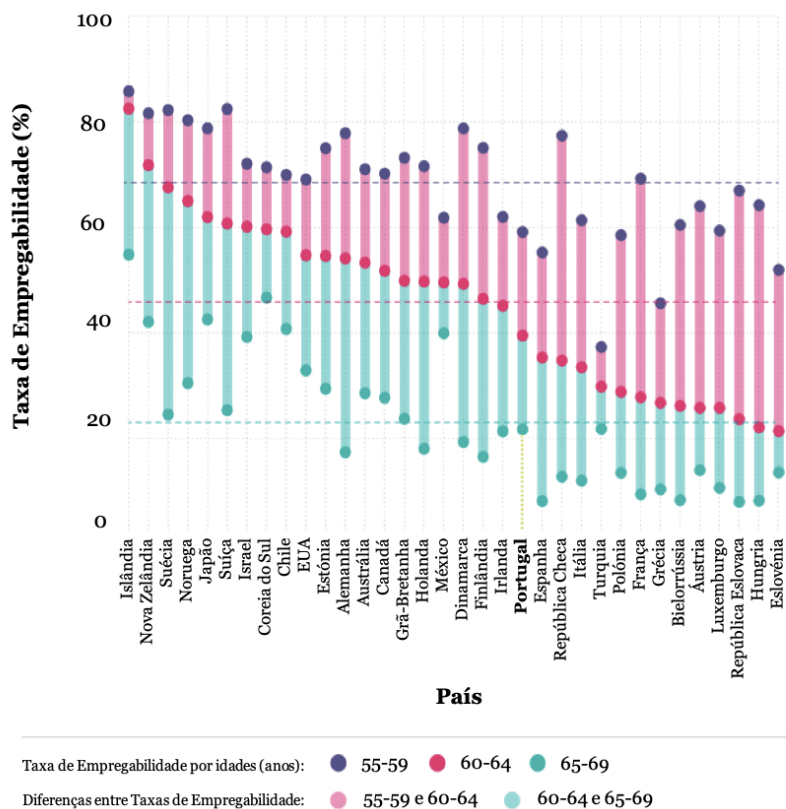


Figura 7 – Taxa de Empregabilidade por idades em diversos países (Adaptado de Jones *et al.*, 2016)

No entanto, é fundamental realçar que a idade média crescente da força de trabalho não apresenta apenas aspetos negativos. Não leva à perda do dinamismo económico, nem do potencial de inovação, ao aumento do desemprego, ou à escassez de mão de obra qualificada, desde que se tomem as medidas necessárias de resposta da forma mais

eficiente, eficaz e em tempo útil (Buck, Kistler & Mendius, 2002). As etapas principais para o suporte da Indústria 4.0 nas empresas e indústrias baseiam-se, em primeiro lugar, na consciencialização da importância da inovação, e, em segundo, a educação e formação da gestão inovadora, e, por fim, a capacidade de conseguir identificar possíveis melhorias. A par destes objetivos e focos a atingir, algumas estratégias, descritas na tabela 2, já estão a ser postas em prática (Petrillo *et al.*, 2016).

Tabela 2 – Estratégias adotadas (Adaptado de Petrilli *et al.*, 2016)

Estratégias
<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecer as empresas e indústrias através do conhecimento e aprendizagem; - Integrar os operadores com os sistemas ciber-físicos; - Treinar os trabalhadores com as habilidades específicas na gestão de trabalhos digitais; - Financiamento para a Implementação das tecnologias associadas à Indústria 4.0; - Promover a utilização de fortes lideranças de forma a promover as mudanças necessárias; - Operadores para controlar e monitorizar os processos de produção; - Utilização da robótica colaborativa nas estações de trabalho; - Ferramentas e tecnologias mais autónomas e automatizadas com supervisão efetuada por seres humanos; - Modelos de educação para os operadores do futuro.

3.2 Operador 4.0

Como visto anteriormente, o ambiente altamente dinâmico da fabricação atual é caracterizado por ciclos de vida mais curtos, pelo aumento da qualidade, diversidade e personalização dos produtos. Por isso, foram requeridos sistemas de produção adaptáveis, isto é, sistemas produtivos de resposta rápida e que se ajustem facilmente às mudanças necessárias a diferentes funções de processamento e capacidades de produção (Kaasinen *et al.*, 2020).

A par destes requisitos, e de forma a acompanhar estes novos sistemas produtivos, tem sido desenvolvida a ideia e o conceito do Operador 4.0, no seguimento da centralização do Homem como componente fundamental da Indústria 4.0 (Kaasinen *et al.*, 2020). O conceito do Operador 4.0 surgiu em paralelo à 4ª revolução industrial e das suas necessidades, e resultou, também, da constante evolução dos Operadores (figura 8) (Romero *et al.*, 2016a; Zolotová *et al.*, 2020).

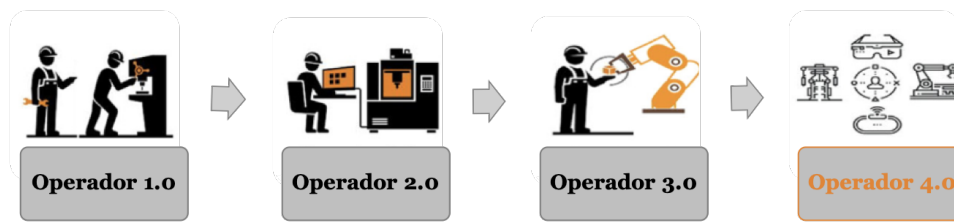


Figura 8 - Evolução dos Operadores (Adaptado de Romero et al., 2016a)

A 1ª geração de operadores, Operador 1.0, era caracterizada pelo trabalho manual com recurso a algumas ferramentas e máquinas que funcionavam manualmente. O Operador 2.0 corresponde ao trabalho assistido, isto é, o trabalhador recorre ao suporte de ferramentas computacionais. De seguida, o operador de 3ª geração, o Operador 3.0, é definido como o trabalhador cooperativo, no qual o Homem é envolvido com máquinas e robôs, resultando num trabalho de colaboração. Por fim, e de acordo com as necessidades da atualidade, o Operador 4.0, corresponde ao operador inteligente do futuro que realiza um trabalho assistido através da integração humana nos sistemas ciber-físicos (Romero *et al.*, 2016a; Zolotová *et al.*, 2020).

O Operador 4.0 é caracterizado como uma projeção futura de um operador inteligente que, dependente da situação e/ou necessidade, realiza o trabalho cooperativo com robôs e trabalho auxiliado por máquinas, através de sistemas ciber-físicos, tecnologias avançadas de interação homem-máquina e automação adaptativa (Romero *et al.*, 2016a; Ruppert *et al.*, 2018; Zolotová *et al.*, 2020; Romero, Stahre & Taisch, 2020) De uma maneira mais simplificada, o Operador 4.0 refere-se a trabalhadores qualificados que desenvolvem habilidades criativas, inovadoras e de improvisação, sem comprometer os objetivos de produção. Para além disso, através da incorporação dos sistemas automatizados, têm, ainda, um alívio da sobrecarga física e mental (Kaasinen *et al.*, 2020).

Para implementar o conceito do Operador 4.0, os operadores de fábrica têm de ser integrados no mundo ciber-físico de maneira a desenvolverem as suas capacidades individuais, num sistema de fábrica inteligente. As tecnologias associadas à Indústria 4.0 são imprescindíveis para o Operador 4.0, e permitem categorizá-lo, isto é, o Operador 4.0 pode ser subdividido em diferentes tipos (figura 9) (Romero *et al.*, 2016b).



Figura 9 - Tipologia do Operador 4.0 (Adaptado de Romero *et al.*, 2016b)

O Operador Superforte que corresponde ao trabalhador que com o recurso à tecnologia melhora as suas condições físicas para o trabalho, por exemplo usando exosqueletos. O Operador Aumentado e o Operador Virtual utilizando ferramentas de Realidade Aumentada e Virtual respetivamente. O Operador Inteligente, que recorre à inteligência artificial. O Operador Colaborativo, que utiliza a tecnologia de modo a melhorar e a facilitar a interação Homem-máquina, por exemplo, a utilização de robôs colaborativos (Cobots). O Operador Social que utiliza e partilha o seu conhecimento com a sociedade, e, ainda, o Operador Analítico que corresponde ao trabalhador focado na análise de dados. Por fim, o Operador Saudável, o operador que tem despertado grande interesse de estudo, pois este usa dispositivos de rastreamento de bem-estar, e assim, permite que sejam tomadas medidas que coloquem o Homem no centro da produção de forma saudável e segura (Romero *et al.*, 2016b; Kaasinen *et al.*, 2020).

O Operador Saudável 4.0 surgiu como resposta às preocupações relacionadas com a segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores, uma vez que anteriormente não era possível quantificar, em tempo real, o bem-estar dos operadores, nem a sua satisfação no trabalho. Assim, com a inclusão do Operador 4.0 é possível rastrear e analisar dados relacionados com a saúde que permitam avaliar os níveis de stress da força de trabalho e o estado de saúde dos operadores. Estas soluções permitem obter uma produtividade melhorada, melhores condições de saúde, bem-estar e segurança nos locais de trabalho inteligentes, abordando, ainda, os novos riscos físicos e psicológicos emergentes dos sistemas de produção ciber-físicos, ou seja, dos problemas que a introdução das

tecnologias da Indústria 4.0 e das novas metodologias de trabalho podem causar nos operadores (Romero *et al.*, 2018).

A implementação do Operador 4.0 no ambiente fabril exige novas qualificações e flexibilidade por parte dos operadores, para que seja possível acompanhar a evolução da tecnologia digital e as novas fábricas inteligentes. Uma parte integrante do conceito do Operador 4.0 é, então, a sua relação com as tecnologias da Indústria 4.0, isto é, como as capacidades cognitivas, sensoriais, físicas e interativas dos operadores podem ser potenciadas pela interação com as diversas tecnologias (Figura 10) (Gazzaneo, Padovano & Umbrello, 2020).

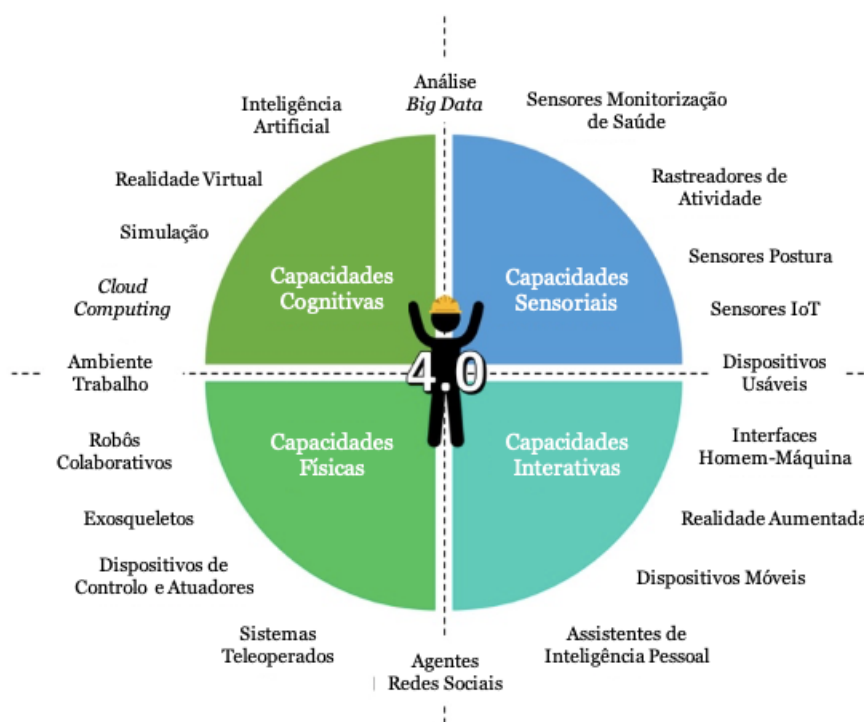


Figura 10 - Tecnologias potenciadoras das capacidades do Operador 4.0 (Adaptado de Gazzaneo, Padovano & Umbrello, 2020)

Para isso, é necessário adotar estratégias de forma a apoiar os trabalhadores atuais e de idade mais avançada a seguir este progresso, através de, por exemplo, novas abordagens de treinos para um desenvolvimento contínuo dos operadores. Relativamente aos novos trabalhadores, estes também têm de ser considerados, porém estes já se encontram mais familiarizados com as novas soluções digitais. De igual forma, é imprescindível reformular os processos de trabalho com a introdução destas novas tecnologias (Kaasinen *et al.*, 2020).

3.3 Operador 4.0 vs Força de trabalho envelhecida

A gestão da idade torna-se então um desafio para as organizações, uma vez que estas dependem da manutenção da capacidade de trabalho, principalmente por parte dos trabalhadores de idade mais avançada (Walker, 2015; Egdell *et al.*, 2018). Assim, as empresas e as indústrias terão de dar respostas ativas ao envelhecimento da força de trabalho, de forma a promover a diversidade etária no trabalho e a sustentabilidade da produtividade através da utilização eficiente desta força de trabalho envelhecida. A diversidade etária numa organização pode trazer benefícios pois é um fator de ampla abordagem, que pode levar a melhorias no desempenho organizacional desde a motivação dos funcionários, à estimulação da criatividade, ao aumento da reputação e à heterogeneidade das equipas devido à diversidade de experiências, conhecimentos e habilidades (Walker, 2015).

Enquanto que o Operador 4.0 é um conceito inovador proveniente da digitalização das indústrias, a força de trabalho envelhecida é uma realidade bem presente na atualidade. Por isso, é importante que esta seja integrado e acompanhado na evolução industrial. O Operador 4.0, como um operador inteligente, está associado às tecnologias da Indústria 4.0 que permitem uma adaptação tecnológica centrada no Homem. Esta adaptação pode ser realizada através de simulações avançadas, de melhorias na interação Homem-Máquina, na colaboração e comunicação humana, e na análise dos sistemas de trabalho, assim como, no seu *design* (Romero *et al.*, 2016a; Romero, Stahre & Taisch, 2020). Para além disso, pode ainda ser feita com recurso às novas metodologias de treino e aprendizagem dos trabalhadores nomeadamente a elaboração de equipas de trabalho heterogêneas e multifuncionais, a introdução de programas de mentores, e a formação *on-the-job*, isto é, a formação e treino no local e no contexto de trabalho. Através destas iniciativas é conseguida a transferência de conhecimentos e são valorizadas as diferenças entre os trabalhadores, permitindo uma seleção e combinação dos operadores a determinadas tarefas consoante as suas habilidades e características (Jones *et al.*, 2016; Schinner *et al.*, 2017). Além disso, outra forma de desenvolver as habilidades e o treino dos operadores é a utilização das *Learning Factories*, pois este tipo de aprendizagem permite a transmissão de conhecimentos, habilidades e técnicas para a força de trabalho através da incorporação do ambiente industrial no ensino (Bongomin *et al.*, 2020).

No entanto, no ambiente industrial, as características funcionais dos operadores estão relacionadas com a sua capacidade de executar um determinado conjunto de tarefas, exigindo um esforço físico, cognitivo ou de ambos. Estas capacidades e características necessitam manutenção pois o trabalho, por si só, é uma das principais causas de

problemas de saúde e incapacidade. Todavia, também pode ser uma fonte importante em termos de atividade, autoestima e contacto social (Walker, 2015; Calzavara *et al.*, 2019). Por isso, é importante reduzir as adversidades prejudiciais ao trabalho e adotar novas estratégias para combater o envelhecimento físico e mental ao longo do tempo, através de melhores qualificações educacionais, treino profissional contínuo, flexibilidade organizacional e melhorias de saúde e segurança (Walker, 2015). Para além disso, as características e capacidades dos operadores sofrem alterações com o envelhecimento, e essas mudanças podem ter consequências na produtividade das empresas e indústrias (Wolf *et al.*, 2018; Calzavara *et al.*, 2019). Na tabela 3 estão representadas as mudanças das capacidades humanas que se manifestam com o envelhecimento, desde as capacidades psicológicas e sociais, às capacidades cognitivas e mentais, até às físicas e sensoriais. Com o aumento da idade é notória a diminuição da capacidade física principalmente pela perda de mobilidade e flexibilidade, pela diminuição da força muscular e pela capacidade de recuperação mais lenta. Também as capacidades sensoriais apresentam um decréscimo pois com o envelhecimento está associada a perda de visão e audição, fazendo com que todas as funções cognitivas e mentais sejam, por consequência, afetadas, pois existe uma menor flexibilidade mental, limitando o tempo de reação e coordenação e, ainda, a uma diminuição da velocidade do processamento das informações e da quantidade de informação a ser processada. Por outro lado, a experiência profissional e o aumento da idade aumentam as capacidades psicológicas e sociais, pois estimulam o desenvolvimento da personalidade e permitem demonstrar e explorar diversas habilidades, nomeadamente de liderança, auto-organização e de desenvoltura na resolução de problemas (Wolf *et al.*, 2018).

Tabela 3 - Alterações nas capacidades e habilidades humanas com o envelhecimento (Adaptado de Wolf *et al.*, 2018)

		Aumenta	Mantém-se igual	Diminui
Capacidades e Habilidades Humanas	Psicológicas/Sociais	X		
	Personalidade	x		
	Stress Mental		x	
	Conhecimento e Experiência	x		
	Habilidades Sociais e <i>Skills</i>	x		
	“ <i>Soft skills</i> ” e outras	x		
	Cognitivas e Mentais		X	
	Capacidades de Aprendizagem		x	
	Inteligência		x	
	Reação			x
	Coordenação			x
	Processamento de Informação			x
	Memória		x	
	Capacidade de Adaptação			x
	Físicas			X
	Capacidades Motoras			x
	Força Muscular			x
	Mobilidade/Flexibilidade			x
	Recuperação			x
	Fisiologia			x
Sensoriais			X	
Visão			x	
Olfato e Sabor			x	
Audição			x	
Tato/Sensação de toque			x	

Os trabalhadores de idade mais avançada apresentam, então, limitações físicas, isto é, a sua capacidade física em geral é mais baixa e vai diminuindo cronologicamente. Estes acusam maior desgaste físico, uma elevada tendência a desenvolver fadiga muscular mais rapidamente, e, ainda, uma grande probabilidade de serem afetados por outras doenças. Para além disso, a força de trabalho envelhecida é mais suscetível ao ambiente e às condições de trabalho, uma vez que estas podem afetar diretamente o desempenho físico dos operadores mais velhos. Exemplos disso, é o caso da iluminação de naves industriais, do stress térmico, do ruído, do desconforto resultante do tipo de pavimento,

entre outras condições laborais (Calzavara *et al.*, 2019). Relativamente ao desempenho cognitivo dos trabalhadores de idade mais avançada, estes apresentam maior dificuldade na aprendizagem e nos tempos de processamento de informação, ou seja, os operadores de mais idade demoram significativamente mais tempo a aprender a desempenhar uma tarefa, e demonstram alguma resistência para mudanças (Egdell *et al.*, 2018; Heisler & Bandow, 2018; Calzavara *et al.*, 2019). E, ainda, estes trabalhadores apresentam mais problemas relativos aos distúrbios e duração do sono aquando da sua laboração por turnos (Calzavara *et al.*, 2019).

Em contrapartida, embora a força de trabalho envelhecida apresente um declínio físico e cognitivo, os operadores mais velhos são capazes de compensar o seu desgaste físico e falta de energia durante as tarefas manuais com o seu grande conhecimento de causa, tornando-se, assim, um recurso útil e de grande valor devido à sua experiência (Calzavara *et al.*, 2019). Estes operadores envelhecidos ostentam melhores conhecimentos sobre o ambiente de trabalho e a forma mais correta de execução de determinadas tarefas, e, por isso, conseguem fazer um planeamento do seu trabalho antecipadamente e identificar situações críticas (Heisler & Bandow, 2018; Calzavara *et al.*, 2019). As indústrias e empresas também revelam grande interesse pelos trabalhadores de idade mais avançada, pois estes apresentam maior lealdade para com os empregadores, uma vez que estes permanecem por maiores períodos de tempo nas organizações, promovendo, assim, uma elevada estabilidade nos locais de trabalho (Egdell *et al.*, 2018).

Além disso, para os novos sistemas produtivos e, conseqüentemente, para o conceito do Operador 4.0, as capacidades físicas não são vistas como habilidades essenciais para os trabalhos do futuro, mas sim, a predisposição para a aprendizagem constante ao longo da vida, o pensamento interdisciplinar, a coordenação de fluxos de trabalho complexos, a capacidade de solucionar e otimizar problemas e, ainda, capacidade de tomadas de decisão independentes. Por isso, os trabalhadores mais envelhecidos são inseridos e integrados nos ambientes de trabalho industrial futuro, uma vez que à medida que as suas capacidades físicas e cognitivas diminuem com o avanço da idade, as habilidades psicológicas e sociais podem permanecer constantes ou aumentar. A força de trabalho envelhecida revela habilidades importantes para a sua integração e manutenção no mundo do trabalho, como a facilidade de tomadas de decisão em situações complexas, o conhecimento e compreensão dos sistemas e processos, habilidades sociais e capacidade de trabalhar em equipa (Wolf *et al.*, 2018). Uma vez que se pretende a centralização do ser humano nas unidades industriais, a experiência e o conhecimento são fatores muito significativos no desempenho humano individual, independentemente da idade e das capacidades cognitivas gerais (Calzavara *et al.*, 2019).

Posto isto, é imperativo responder ao envelhecimento da força de trabalho através da sua consciencialização e adaptação às novas condições e inovações industriais, que surgiram com a Indústria 4.0. Os operadores têm de ser envolvidos e integrados nas fábricas inteligentes com a aplicação dos conceitos do Operador 4.0, de forma a que seja possível reduzir a carga de trabalho física e cognitiva, e ao mesmo tempo, potenciar a produtividade, saúde e segurança nos espaços de trabalho inteligentes (Romero *et al.*, 2018). Para que isso aconteça, têm de ser tomadas medidas relativamente ao ambiente de trabalho e às capacidades de trabalho dos operadores. No ambiente de trabalho é essencial uma consciencialização da idade, um plano de treino contínuo, uma organização e horário de trabalho flexível, uma diversidade e igualdade de oportunidades de trabalho, com planeamento e promoções de carreira, e, ainda, as condições mínimas necessárias relativamente à higiene, saúde e segurança no trabalho. Em relação às capacidades de trabalho dos operadores são importantes as habilidades do trabalho em equipa, a autonomia, a flexibilidade e mobilidade, e o compromisso de formação contínua para melhorar as qualificações educacionais e as *skills* (Walker, 2015; Heisler & Bandow, 2018).

Capítulo 4

Fator Humano no Centro da Produção

Após análise do desafio sociodemográfico existente relativamente ao envelhecimento da força de trabalho, neste capítulo são apresentados alguns casos práticos de aplicações onde o fator humano é colocado no centro da produção.

4.1 Casos Práticos de Aplicações

Um dos casos pioneiros e de grande reconhecimento nesta temática, foi o exemplo da BMW, que decidiu reinventar e modificar algumas linhas de fabricação para melhorar e acomodar um grupo de operadores, neste caso, força de trabalho envelhecida, de maneira a facilitar o desempenho das tarefas físicas. Este projeto da BMW foi realizado com o intuito de avaliar a força de trabalho envelhecida na produtividade da empresa, o seu comportamento e adaptação a estas modificações inovadoras e, avaliar a saúde e bem-estar desses mesmos operadores, pois as funções desempenhadas nestas linhas de fabricação têm tendência a provocar distúrbios musculares. Para isso, foram, então, melhorados alguns aspetos ergonómicos, como a alteração do tipo de pavimento, a introdução de cadeiras e mesas de trabalho ajustáveis, o fornecimento de calçado ortopédico, a introdução de algumas tecnologias de ampliação de ecrãs e de monitores ajustáveis, entre outros. Foram também introduzidos ritmos de produção variáveis com recurso à rotação de funções, e, ainda, foram disponibilizadas sessões de treino, *workshops* e acompanhamento contínuo ao longo do tempo do projeto. Os resultados alcançados com este projeto foram bastante positivos, uma vez que a força de trabalho envelhecida mostrou melhorias significativas de saúde e bem-estar, assim como, na elevada motivação no desempenho das tarefas. Para além disso e com grande relevância para a BMW, a produtividade da empresa aumentou, tendo sido registado um aumento de 7% logo após o 1º ano de implementação, e também foi verificada uma redução dos defeitos (Loch *et al.*, 2010).

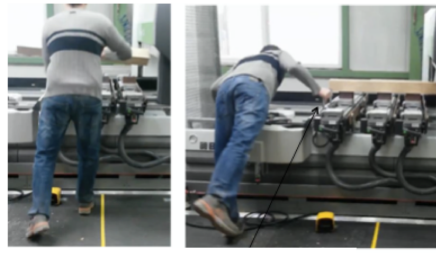
Outra empresa que tem evoluído no sentido de adotar as soluções de fabricação inteligentes é a Hyundai Motor. Esta empresa tem tirado proveito das suas tecnologias de fabricação que juntamente com as TIC, particularmente a utilização de sensores inteligentes, *Big Data*, inteligência artificial, entre outras, ambicionando proporcionar um ambiente fabril centrado no ser humano com recurso à automação e digitalização cibernética. A figura 11 ilustra o centro de engenharia e fabricação da Hyundai que

impulsiona o futuro da Indústria de produção de automóveis (International Organization for Standardization, 2018).



Figura 11 - Centro de Engenharia de Fabricação da Hyundai (Adaptado de International Organization for Standardization, 2018)

Um caso de estudo industrial foi desenvolvido em colaboração com uma empresa italiana de produção de equipamentos de carpintaria, com o objetivo de criar um sistema de fabricação adaptável centrado no Homem, especialmente para a força de trabalho envelhecida. O sistema de fabricação anterior apresentava algumas limitações: provocava lesões músculo-esqueléticas, proporcionava pouco conforto aos trabalhadores no desempenho das suas funções, existia uma difícil monitorização dos processos e inúmeras paragens durante os mesmos. Para a aplicação do novo sistema de fabricação adaptável recorreram à introdução das tecnologias da Indústria 4.0, como os sistemas ciber-físicos, a automação e o *Big Data*. Foram aplicados sensores de monitorização, de pressão, peso e temperatura, e, também, controlos de interface digital (figura 12)(Peruzzini & Pellicciari, 2017).



(A)



(B)

Figura 12 - Exemplo de adaptação do sistema produtivo: (A) Antes; (B) Depois (Adaptado de Peruzzini & Pellicciari, 2017)

Antes do projeto final, foi, ainda, realizado um protótipo do equipamento e ensaios de simulação com recurso à Realidade Virtual e Simulação, como representado na figura 13 (Peruzzini & Pellicciari, 2017).

(A)



(B)



Figura 13 - (A) Protótipo do equipamento; (B) Simulação em Realidade Virtual (Adaptado de Peruzzini & Pellicciari, 2017)

Este novo sistema de fabricação experimental adaptativo centrado no ser humano atingiu melhorias relativamente ao grau de satisfação dos operadores, a uma redução de 100% dos erros humanos, e 40% das operações físicas. Foi, também, alcançado uma redução das paragens do equipamento de 50% e um aumento de 35% da capacidade de produção. No entanto, foi um estudo com algumas limitações principalmente associadas à dimensão do projeto, uma vez que apenas foi adaptado um equipamento produtivo (Peruzzini & Pellicciari, 2017).

Outro caso prático é o da conceituada indústria automobilística, a Audi, que tem apostado na introdução da tecnologia facilitadora dos aspetos ergonómicos, os exosqueletos. A Audi já apresentou 3 projetos de exosqueletos com diferentes finalidades: um exosqueleto que auxilia no fornecimento e transporte de materiais e objetos de maior carga (figura 14A), outro que permite a transferência de parte do peso dos membros superiores para os inferiores aquando da realização de tarefas aéreas, isto é, das operações realizadas acima da cabeça dos trabalhadores (figura 14B), e, um terceiro que permite sustentar o corpo humano ao longo do dia de trabalho, em forma de cadeira, a “*Chairless chair*” (figura 14C) (Wired, 2015; Audi MediaCenter, 2017; New Atlas, 2019).

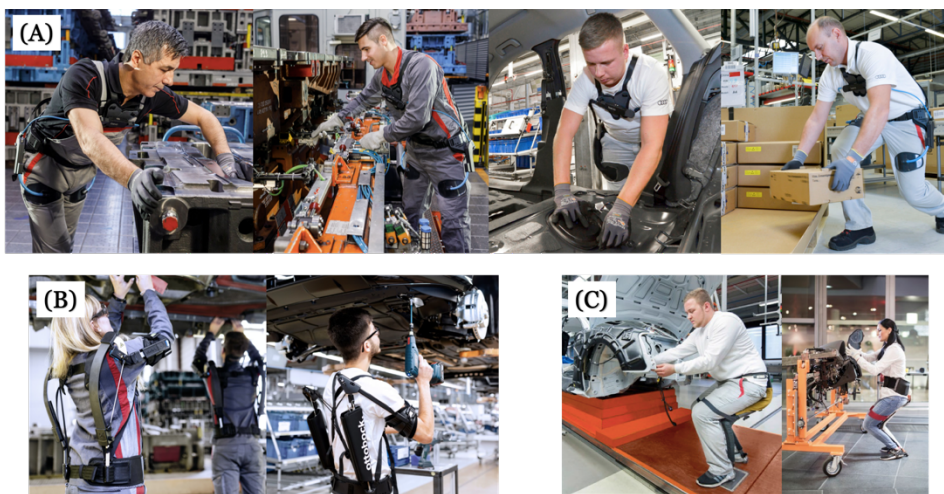


Figura 14 - Aplicação da utilização de diferentes tipos de exosqueletos (Adaptado de Wired, 2015; Audi MediaCenter, 2017; New Atlas, 2019)

Também outras empresas de produção de automóveis, como o caso da Ford e Hyundai, têm adotado e projetado para as suas respetivas indústrias, a utilização de exosqueletos, tal como ilustrado na figura 15, com utilização e funcionalização similar às aplicadas pela Audi (New Atlas, 2018a; New Atlas, 2018b).

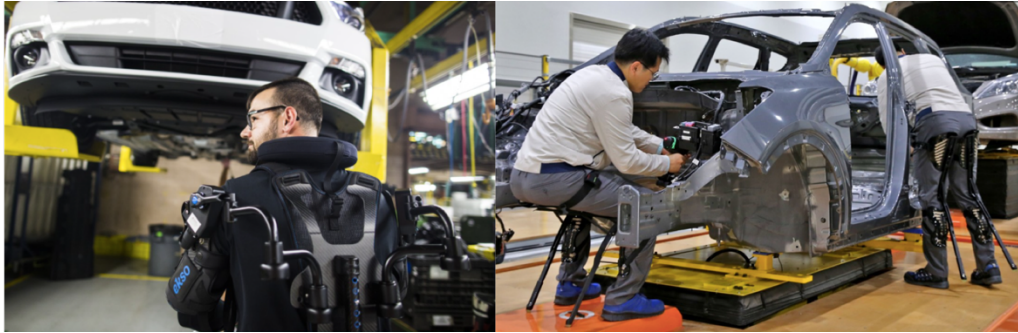


Figura 15 - Exosqueletos utilizados pelas indústrias automobilísticas da Ford e Hyundai (Adaptado de New Atlas, 2018a; New Atlas, 2018b)

Para além disso, foram realizados diversos estudos relativamente à utilização dos exosqueletos e das suas limitações. Um estudo no qual é introduzida a definição de exosqueletos adaptativos inteligentes, que são exosqueletos facilmente ajustáveis aos locais de trabalho específicos e às tarefas dos operadores. Outro onde são avaliadas as preocupações em relação à segurança dos operadores pela utilização destas tecnologias, e, também, os problemas de higiene e da falsa sensação de segurança (Kim *et al.*, 2019; Dahmen & Constantinescu, 2020).

O último exemplo apresentado corresponde a um projeto de um local de trabalho centrado no fator humano na fabricação de peças de aeronaves. Este conceito foi baseado na implementação de um local de fabricação individualizado, isto é, uma estação de trabalho onde são priorizadas as melhorias direcionadas ao Homem, para que seja facilitado o desenvolvimento de tarefas e, igualmente importante, proporcionar saúde e bem-estar (figura 16) (Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019).

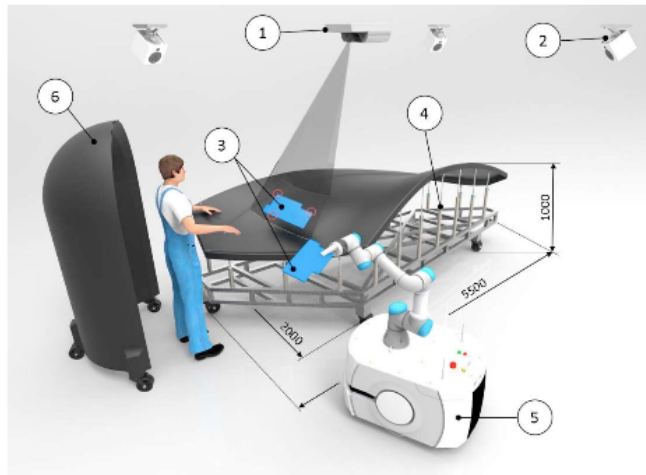


Figura 16 - Local de trabalho piloto, centrado no Homem, para fabricação de peças de aeronaves (Adaptado de Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019)

As alterações efetuadas para estes locais de trabalho envolvem, fundamentalmente, aspetos ergonómicos. Desde a introdução de sistemas de realidade aumentada com o objetivo de dinamizar e ampliar os procedimentos e informações relativos às tarefas a desenvolver (1 e 2), até a aplicação de sensores para orientação visual de forma a adequar o posicionamento dos materiais de forma correta (3). Para facilitar os movimentos do corpo do operador, permitindo o acesso a áreas mais difíceis e reduzindo as posturas ergonomicamente problemáticas, a peça é fabricada sob um sistema com rodas e cilindros hidráulicos automatizados (4). Para auxiliar o desenvolvimento das tarefas e poder reduzir a carga de trabalho física do operador, introduz-se um equipamento robotizado (5). Por fim, e de maneira a potenciar a satisfação do operador no local de trabalho, idealiza-se uma barreira móvel de proteção contra ruídos e variações de temperatura, produzindo um microclima ao trabalhador (6) (Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019).

Capítulo 5

Proposta

Perante os desafios encontrados com o envelhecimento da força de trabalho e o foco na sua centralização na produção, neste capítulo são apresentadas propostas com a intenção de melhorar as condições de trabalho para este grupo de trabalhadores, assim como, o seu bem-estar, saúde e segurança. Estas propostas têm, ainda, o intuito de melhorar e aperfeiçoar a produtividade e qualidade dos novos sistemas produtivos, com a força de trabalho existente nas unidades fabris.

5.1 Propostas aos desafios do envelhecimento da força de trabalho

Para que seja possível desenvolver estratégias centradas no Homem, como ponto fundamental dos sistemas produtivos, é necessário que sejam tomadas medidas em diversas perspetivas. Primeiro, uma abordagem com recurso à engenharia centralizada no ser humano, através de soluções individualizadas, isto é, considerando a diversidade dos operadores e as suas respetivas mudanças ao longo do tempo, mas também, com a introdução das tecnologias colaborativas da Indústria 4.0 nos locais de trabalho. Por outro lado, a abordagem relativamente à integração e adaptação desta força de trabalho envelhecida aos novos modelos produtivos e, ainda, as perspetivas de gestão centradas no Homem. As propostas apresentadas têm como objetivo auxiliar a debelar os desafios da atualidade que as empresas e indústrias enfrentam com a digitalização e a mudança demográfica, e assim, potenciar o desenvolvimento de processos operacionais sustentáveis a longo prazo, com a força de trabalho existente nas empresas e indústrias (Sgarbossa *et al.*, 2020).

As primeiras propostas apresentadas vão de encontro à individualização do operador e das alterações provocadas pela idade ao longo do tempo, principalmente pela perda das capacidades físicas e sensoriais. Assim, o foco é a melhoria da saúde e segurança do operador, nomeadamente nos aspetos ergonómicos e sensoriais. Para tal, têm de ser realizadas mudanças nos locais de trabalho em diversas vertentes e setores: na altura das superfícies de trabalho, no alcance e área de visão e manuseamento, na iluminação, no contexto térmico e acústico, e, também, nos aspetos gerais do local de trabalho, como a configuração e design da informação e, a forma como o trabalho é organizado (Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019). Em relação à ajustabilidade da altura das

superfícies de trabalho, propõe-se um ajuste da altura ideal de trabalho de acordo com a altura do respetivo operador, da tarefa específica a realizar e do tempo de execução da mesma. Estas propostas pretendem prevenir as lesões músculo-esqueléticas uma vez que são evitadas posições corporais ergonomicamente desfavoráveis e proporcionam melhorias na eficiência de trabalho pela adequação da altura e por menores níveis de fadiga. Para reduzir a tensão física dos movimentos ergonomicamente desfavoráveis durante o manuseamento de ferramentas e execução de tarefas, e, consecutivamente, minimizar a ocorrência de erros no processo produtivo, sugere-se o ajuste automático das mesas de trabalho, isto é, a possibilidade de regular a largura, comprimento e ângulo das superfícies de trabalho.

Outra vertente que pode ser melhorada é a questão da iluminação, ou seja, a intensidade e cor da luz, o número de fontes de iluminação e os seus ângulos de incidência. Este fator torna-se relevante pelo facto de os trabalhadores mais envelhecidos apresentarem um declínio da visão ao longo do tempo, e, por isso, é proposto o ajuste automático da iluminação nos postos de trabalho de acordo com as necessidades e, ainda, a utilização de fontes de luz adicionais para trabalhos que exijam maior precisão e maior sensibilidade no manuseamento. Adotando estas estratégias, é possível reduzir a fadiga visual, reduzir os erros de trabalho e aumentar a produtividade pois é estimulada a atenção, e, consecutivamente a satisfação do operador (Berlin & Adams, 2017).

Da mesma maneira, como visto anteriormente, ao longo do envelhecimento a perda de audição também é verificada, e, então, é necessário reduzir o nível de ruído nos locais de trabalho, as vibrações e o ruído nas zonas envolventes. Para combater estes obstáculos pode optar-se pela utilização de equipamentos auditivos com cancelamento de ruído, isto é, dispositivos tecnológicos que emitem frequências contrárias para cancelamento de ruído, e, ainda, barreiras de som ajustáveis. Para além disso, para aumentar o bem-estar e prevenir problemas de saúde associados às diferenças de temperatura e humidade propõem-se medidas para melhorar o ambiente térmico, como por exemplo a adoção de sistemas de ventilação e ar condicionado. Por fim, é necessário atuar em aspetos gerais no local de trabalho, que permitam uma melhor prestação laboral e integração dos operadores envelhecidos, nomeadamente a forma como está descrita e direcionada a informação (Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019). Ou seja, propõe-se a alteração da legibilidade de *displays* e da alteração da informação através do ajuste do tamanho da fonte e o tipo de letra da informação disponibilizada aos trabalhadores para o desenvolvimento das suas tarefas e funções, como também a extensão e complexidade da informação. Estas alterações e adaptações de algumas condições de trabalho podem ser testadas através da realização de estudos de usabilidade, com recurso à Simulação e

Realidade Virtual, de forma a alcançar a sua eficácia, eficiência e satisfação do operador no contexto da sua utilização (Bruno & Muzzupappa, 2010). Estas propostas são sugeridas com o intuito de simplificar e melhorar a interação e comunicação com o operador envelhecido uma vez que este apresenta a sua capacidade sensorial e, conseqüentemente cognitiva diminuída, e, assim, é facilitada a sua integração e aceitação no local de trabalho (Mayrhofer, Rupprecht & Schlund, 2019).

De seguida, e, ainda, parte integrante da abordagem da centralização do Homem na produção com recurso à Engenharia, é de grande relevância a utilização das tecnologias associadas à Indústria 4.0, de forma a dar assistência e colaboração aos operadores em inúmeras tarefas e procedimentos do seu quotidiano industrial. Estas tecnologias podem ter especial interesse para a adaptação e integração da força de trabalho envelhecida nos sistemas produtivos, principalmente ao nível ergonómico. Propõe-se a utilização de dispositivos de elevação e movimentação de materiais que permitam a assistência ao operador na escolha, fornecimento e movimentação de objetos, peças e ferramentas para os processos de trabalho. Exemplo disso, é a aplicação de veículos guiados automatizados (AGVs) e controlos remotos. Outra proposta é a integração de robôs colaborativos, os cobots (figura 17A), que interagem fisicamente com o operador durante os processos de fabricação, existindo uma partilha de espaço e colaboração com os trabalhadores. Esta tecnologia permite simplificar as tarefas dos operadores através da eliminação da necessidade de movimentação manual, diminuído, assim, a carga física sobre o sistema músculo-esquelético do operador, e, inclusive, colocar os robôs a desempenhar tarefas repetitivas e monótonas, e, em casos excecionais, substituir o operador na realização de tarefas ergonomicamente desfavoráveis. Uma das estratégias que já vem sendo adotada para melhorar os processos de trabalho, e, que pode ser utilizada no contexto laboral para os operadores mais envelhecidos, é a aplicação dos exosqueletos (figura 17B). Os exosqueletos são dispositivos técnicos de assistência, usados pelos operadores, constituídos pelo acesso direto a forças mecânicas e informação, que reduzem o esforço físico que era efetuado e acumulado ao longo do tempo, e por consequência, aumentam o conforto e produtividade dos operadores.

Propõe-se, também, a utilização de ferramentas e dispositivos eletrónicos inteligentes (figura 17C), isto é, sistemas tecnológicos avançados, adaptáveis ao operador e ao local de trabalho, e que apresentem uma interação e comunicação simples com o operador e com outras ferramentas e equipamentos. Outra estratégia que pode ser utilizada, nomeadamente para combater as dificuldades cognitivas da força de trabalho envelhecida, é a utilização de tecnologias de realidade aumentada e virtual (figura 17D), com a aplicação de dispositivos tecnológicos que potenciam, em tempo real, a criação de

uma percepção de realidade. Isto permite o acompanhamento direto do operador durante a realização do trabalho.

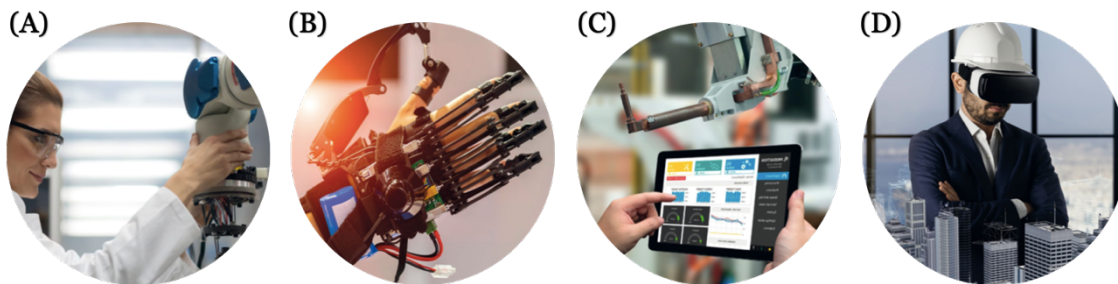


Figura 17 - Exemplos de tecnologias propostas para os operadores envelhecidos (A) Cobots; (B) Exosqueletos; (C) Dispositivos Tecnológicos; (D) Dispositivo de Realidade Aumentada e Virtual; (Adaptado de EU-OSHA, 2019)

Por outro lado, a utilização das estações de trabalho inteligentes corresponde diretamente a uma melhoria no trabalho, pois estas têm a capacidade de se adaptar às características e necessidades dos operadores através da incorporação das tecnologias anteriores que sejam necessárias e, ainda, a introdução de sistemas de reconhecimento ativo de avaliação antropométrica do trabalhador, de forma a averiguar as suas condições físicas, ergonómicas e fisiológicas (EU-OSHA, 2019; Calzavara *et al.*, 2019; Gruchmann *et al.*, 2020).

Já foram testados e utilizados alguns dispositivos e ferramentas de forma a monitorizar estas condições, nomeadamente um sistema de *Eye Tracking* de alta qualidade, os “*Glasses 2*” desenvolvidos pela “*Tobii*” (Figura 18A), um sensor de monitorização multi-paramétrico de controlo de sinais vitais em tempo real, o “*BioHarness 3.0*” desenvolvidos pela “*Zephyr*” (Figura 18B). O sistema de captura de movimento ótico, com recurso a câmaras da “*VICON Bonita*” e o seu software complementar permitem o rastreamento das movimentações do corpo do operador (Figura 18C). E, ainda, um software de modelagem digital de forma a criar um ambiente virtual do operador e das suas movimentações. No entanto, é preciso ter em conta o consentimento, confidencialidade e segurança dos dados de cada operador, que poderão estar inseridos nos programas de Higiene, Saúde e Segurança no Trabalho das empresas e indústrias (Peruzzini, Grandi & Pellicciari, 2020).



Figura 18 - Dispositivos e tecnologias de monitorização testadas (Adaptado de Peruzzini, Grandi & Pellicciari, 2020)

No entanto, estas propostas centradas no Homem com recurso às tecnologias provenientes da digitalização, apresentam algumas limitações e desafios para o operador e, especialmente, para os operadores de idade mais avançada. A introdução destes dispositivos e equipamentos podem limitar as movimentações dos operadores, causando sensações de constrangimento, e, também, condicionam a trabalhos e tarefas estacionárias e pouco dinâmicas.

Por outro lado, existe ainda a dificuldade de aceitação da introdução destas tecnologias e a falsa segurança, que pode proporcionar a estes trabalhadores, também tem de ser tida em conta, pois os equipamentos podem apresentar falhas e erros, comprometendo, assim, o operador. Posto isto, é imperativo esclarecer e tomar uma posição de como será compreendida e controlada a interação entre os operadores mais envelhecidos e as tecnologias, e, também, as possíveis consequências para a saúde do operador à prolongada exposição a este tipo de equipamentos, como é o caso da utilização dos exosqueletos e dos sistemas de realidade virtual e aumentada (Calzavara *et al.*, 2019; Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

Para além disso, é de igual forma importante a abordagem da gestão e modelação dos novos sistemas produtivos relativamente à força de trabalho envelhecida, de modo a colocar o fator humano no centro da produção. Para tal, é preciso dar autonomia aos grupos de trabalho de forma a reter os principais valores no trabalho, como as tomadas de decisão e a resolução de problemas complexos, mas também, promover a criatividade e estimular a componente social, considerando as habilidades individuais deste grupo de operadores.

São, por isso, propostas medidas e metodologias em duas vertentes para os operadores envelhecidos: propostas de retenção dos trabalhadores mais velhos nos postos de trabalho e, por outro lado, propostas para envolver e adaptar esta força de trabalho aos

novos sistemas produtivos. Para a retenção destes trabalhadores, as empresas e as indústrias têm de analisar as políticas internas que são postas em prática e que influenciam estes trabalhadores, de forma a estabelecer acordos de trabalho flexíveis.

Então, propõe-se uma política de flexibilidade laboral, isto é, rotação de funções e de tarefas no trabalho, horários flexíveis, e, ainda, a possibilidade de adoção de teletrabalho, quando possível e exequível. Promover uma cultura laboral inclusiva através da realização de grupos de trabalho e treino com maior diversidade etária de forma a mitigar o envelhecimento e os estereótipos associados. Devem, também, ser adotados os métodos de treino para o desenvolvimento das habilidades e capacidades individuais, prevenindo assim a obsolescência. E, por fim, devem ser realizados programas e planos de convívio multigeracional para manter o bem-estar físico e psicológico.

Em relação ao envolvimento e adaptação da força de trabalho envelhecida aos novos sistemas produtivos, é proposta a estimulação do conhecimento e da experiência existente como meios de orientação e desenvolvimento de iniciativas para transferência de conhecimentos, assim, como as sessões de treino para o desenvolvimento profissional e para o contacto e adaptação de novas experiências de trabalho com as diversas tecnologias. Todavia, propõe-se um acompanhamento físico e psicológico dos operadores envelhecidos no decorrer da sua adaptação à digitalização, e, consecutivamente, mecanismos e metodologias de avaliação do grau de satisfação e bem-estar destes mesmos trabalhadores (Heisler & Bandow, 2018; Fantini, Pinzone & Taisch, 2020; Fletcher *et al.*, 2020).

Além disso, a estratégia da Ergonomia Participativa tem sido cada vez mais utilizada, pois tem apresentado bons resultados e uma melhor abertura e aceitação de alterações nos locais de trabalho por parte dos trabalhadores. Esta estratégia tem o intuito de incentivar o envolvimento dos operadores na gestão do seu próprio trabalho e na modelação dos novos sistemas produtivos, diminuindo, conseqüentemente, os fatores de risco laborais, e, assim, melhorando a sua saúde e segurança (Broberg, Seim & Andersen, 2011; Lima & Coelho, 2019).

Na tabela 4 estão sumarizadas as propostas para colocar o fator humano no centro da produção, assim como os benefícios para o operador e o respetivo impacte no trabalho, e, ainda, os seus desafios e limitações.

Tabela 4 - Propostas para colocar o Fator Humano no Centro da Produção.

		Propostas	Benefícios/Melhorias	Limitações/Desafios	
Fator Humano no Centro da Produção	Abordagem com recurso à Engenharia	Individualização do Operador nos Locais de Trabalho	<ul style="list-style-type: none"> - Ajuste da altura de trabalho; - Ajuste automatizado das mesas de trabalho; - Ajuste automático da iluminação (cor e intensidade); - Disponibilização de fontes de luz adicionais; - Utilização de equipamentos auditivos com cancelamento de ruído; - Incorporação de barreiras de som ajustáveis; - Medidas para melhorar ambiente térmico (exemplo: sistemas de ventilação e ar condicionado); - Ajuste do tamanho da fonte e tipo de letra da informação; - Reduzir a extensão e complexidade da informação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução das posições ergonomicamente desfavoráveis; - Redução da fadiga muscular; - Redução da fadiga visual; - Diminuição da ocorrência de erros; - Redução do ruído e barulho de fundo; - Aumento da satisfação e bem-estar do operador; - Aumento da produtividade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos associados ao investimento para obtenção de melhores condições laborais individualizadas.
		Tecnologias da Indústria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de dispositivos de elevação e movimentação de materiais (exemplo: AGVs); - Integração de Cobots (Robôs Colaborativos); - Aplicação e utilização de exosqueletos; - Utilização de ferramentas e objetos inteligentes; - Utilização de tecnologias de Realidade Aumentada e Virtual; - Utilização de estações de trabalho inteligentes; - Introdução de sistemas de reconhecimento ativo de avaliação antropométrica do trabalhador. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melhorias ergonómicas; - Assistência ao operador; - Redução do esforço físico; - Aumento do conforto; - Diminuição da ocorrência de erros; - Aumento da produtividade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitação de movimentos/ Constrangimento físico; - Trabalho estacionário e pouco dinâmico; - Erros e falhas dos equipamentos que podem comprometer o operador; - Custos elevados dos dispositivos/equipamentos.

	<p align="center">Abordagem na gestão e modelação dos sistemas produtivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidade de horários laborais; - Rotação de funções e tarefas; - Adoção (quando possível) de teletrabalho; - Dar autonomia aos operadores; - Promover uma cultura laboral inclusiva; - Grupos de trabalho e treino compostos por várias faixas etárias; - Métodos de treino para o desenvolvimento das habilidades e capacidades individuais; - Realização de programas e planos de convívio multigeracionais; - Desenvolvimento de iniciais para transferências de conhecimentos e experiências; - Sessões de treino acompanhado para adaptação às tecnologias industriais; - Acompanhamento físico e psicológico durante a fase de adaptação à digitalização; - Introdução de metodologias de avaliação de satisfação e bem-estar dos operadores; - Estratégia da ergonomia participativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigação do estereótipo da força de trabalho envelhecida; - Retenção dos princípios e valores do trabalho; - Estimulação da criatividade e da componente social; - Envolvimento e adaptação dos operadores envelhecidos; - Aumento da satisfação dos operadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Abertura para partilha de conhecimentos e integração nos grupos de treino reduzida; - Dificuldade de aceitação e receção dos novos sistemas produtivos; - A avaliação do bem-estar e do grau de satisfação tem de ser de forma mais assertiva.
--	--	---	---	--

Capítulo 6

Considerações Finais

Neste capítulo, de forma a finalizar a dissertação, são apresentadas as considerações finais sobre a temática estudada, os desafios e as limitações encontradas, e, conclui-se com as perspectivas de trabalho e investigação futuras.

6.1 Conclusões, desafios e limitações

A implementação da Indústria 4.0 nas empresas e indústrias revela inúmeros desafios, e em particular, na adaptação da força de trabalho aos novos métodos de trabalho e sistemas produtivos.

Inicialmente, são colocadas várias questões associadas a esta implementação, nomeadamente qual e como será o papel das PME's no futuro, se serão absorvidas pelas grandes empresas, se não serão capazes de se adaptar e enquadrar na era da digitalização, ou se estarão condenadas a desaparecer. Caso as empresas decidam adotar esta estratégia, irão debater-se quanto à sua capacidade financeira e humana de adaptação aos novos sistemas produtivos, mais especificamente à capacitação da força de trabalho envelhecida. Para estes desafios e como o capital humano das empresas é fundamental para o seu sucesso, foram apresentadas propostas de forma a que as empresas coloquem o fator humano no centro da produção, recorrendo a abordagens de integração da Engenharia através da individualização e tecnologias da Indústria 4.0, e, também, abordando a gestão e modelação dos novos sistemas produtivos. No entanto, e, como referido anteriormente, é necessário avaliar a interação da força de trabalho envelhecida com os novos dispositivos e equipamentos tecnológicos e como estes afetarão a saúde dos trabalhadores. Um exemplo disso, é a questão da utilização dos equipamentos de Realidade Aumentada e Virtual pois privam o ser humano do contexto real, e pode trazer consequências a longo prazo para a saúde dos seus utilizadores. Outro desafio que se coloca, está relacionado com as sessões de treino e as estratégias de formação de inclusão destes operadores envelhecidos no seio industrial. A formação ao longo da vida ganhará outro impacto e uma importância acrescida, pois vai ter de ser capaz de acompanhar os avanços tecnológicos e, para além disso, dotar os trabalhadores de ferramentas que lhe permitam adaptar-se mais rapidamente a essas mudanças. No entanto, ainda se desconhecem as dinâmicas de trabalho em equipa com as diferentes faixas etárias, como será compensada a diminuição da capacidade de processamento da

informação por parte dos trabalhadores mais velhos, e, ainda, como será a aceitação destes em partilhar o seu conhecimento e experiência.

Por isso, é imperativo que se recorram a metodologias de avaliação das consequências da digitalização na saúde dos trabalhadores mais velhos, para que a transição das empresas e indústrias para a esta nova era digital ocorra de uma forma natural de maneira a não causar a diminuição da produtividade das empresas, nem aumentar os custos para esta transição.

6.2 Perspetivas futuras

Como perspetiva futura, pretende-se ampliar o estudo para casos práticos de aplicação industrial, uma vez que o ensaio em ambiente laboratorial poderá conduzir a resultados pouco realistas, isto é, de estarem muito desfasados da realidade do chão-de-fábrica. É necessária uma reprodução do ambiente fabril, isto é, com todos os fatores ambientais, sociais e meio envolvente que influenciem as capacidades e habilidades dos operadores. Para além disso, nestes casos práticos são necessários grupos de trabalhadores com grandes diversidades etárias e experiências profissionais.

Por outro lado, e com intuito de auxiliar as empresas e as indústrias a esta adaptação à implementação da Indústria 4.0, pretende-se criar oportunidades para as empresas de utilizarem ambientes virtuais e à escala com recurso às *Learning Factories*, de forma a testarem e otimizarem os novos sistemas produtivos, e, também, poder auxiliar nas sessões de treino e formação dos operadores envelhecidos.

Por fim, pretende-se estudar e desenvolver metodologias e ferramentas de avaliação das condições de trabalho futuras, dos ambientes laborais e do bem-estar, saúde e segurança dos operadores em geral, e especificamente da força de trabalho envelhecida.

Referências Bibliográficas

Audi MediaCenter. (2017) Audi production: working without backache with the exoskeleton. [Online] Disponível em: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/audi-production-working-without-backache-with-the-exoskeleton-9704> [Acedido em 3/6/2020].

Benešová, A. & Tupa, J. (2017) Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, pp. 2195–2202. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.366

Berlin, C. & Adams, C. (2017) *Production Ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*, Ubiquity Press, London, England.

BITKOM, VDMA, ZVEI (2016) Implementation Strategy Industrie 4.0 - Report on the results of the Industrie 4.0 Platform. Disponível: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/Implementation_Strategy_Industrie_4.0_-_Report_on_the_results_of_Industrie_4.0_Platform/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf

Bongomin, O., Ocen, G. G., Nganyi, E. O., Musinguzi, A., Omara, T. (2020) Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. *Journal of Engineering*, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2020/4280156.

Bossard Group. (2018) What are Industry 4.0 and Internet of Things all about?. [Online] Disponível em: <https://www.bossard.com/en/smart-factory-logistics/blog/2018/02/what-are-industry-40-and-the-internet-of-things-all-about/> [Acedido em 4/5/2020]

Botelho, J. M. & Cruz, V. A. G. da (2013) *Metodologia científica*. 1ª Edição. Pearson Education do Brasil e Unopar, São Paulo, Brasil.

Broberg, O., Seim, R., Andersen, V. (2011) Collaborative Design of Workplaces: The Role of Boundary Objects. *Applied Ergonomics*, 464–472. DOI: 10.1201/EBK1439835074-7.

Bruno, F. & Muzzupappa, M. (2010) Product interface design: A participatory approach based on virtual reality. *International Journal of Human Computer Studies*, 68, pp. 254–269. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2009.12.004

Büchi, G., Cugno, M., Castagnoli, R. (2020) Smart factory performance and Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change, Volume 150, January, 119790. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119790

Buck, H., Kistler, E., Mendius, H. G. (2002) Demographic change in the world of work - Opportunities for an innovative approach to work – A German point of view. Booklet Series: Demographic and Employment. Disponível em: https://www.isf-muenchen.de/pdf/BR_DE_BR13.pdf

Calzavara, M., Battini, D., Bogataj, D., Sgarbossa, F., Zennaro, I. (2019) Ageing workforce management in manufacturing systems: state of the art and future research agenda. International Journal of Production Research, 58, pp. 729–747. DOI: 10.1080/00207543.2019.1600759.

Cevik Onar, S., Ustundag, A., Kadaifci, Ç., Oztaysi, B. (2018) The Changing Role of Engineering Education in Industry 4.0 Era. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation, pp. 137–151. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_8.

Dahmen, C. & Constantinescu, C. (2020) Methodology of employing exoskeleton technology in manufacturing by considering time-related and ergonomics influences. Applied Sciences, 10, pp. 1–13. DOI: 10.3390/app10051591.

Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barros, A. C., Soares, A. L. (2019) Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. Journal of High Technology Management Research, 30, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.hitech.2019.100355.

Egdell, V., MacLean, G., Raeside, R., Chen, T. (2018) Age management in the workplace: Manager and older worker accounts of policy and practice. Ageing and Society, 40 (4), pp. 784–804. DOI: 10.1017/S0144686X18001307.

EU-OSHA (2019) Digitalisation and occupational safety and health - An EU-OSHA research programme. European Agency for Safety and Health at Work. Disponível em: <https://osha.europa.eu/en/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-osh-eu-osha-research-programme/view>

EU Automation (2018) A pan-EU tour of Europe: A review of the main European digital initiatives. In: 4.0 Sight – Digital Industry Around the World, pp. 29–34. Disponível em: <http://assets.euautomation.com/4sight-book/download/4sightbook.pdf>

Fantini, P., Pinzone, M., Taisch, M. (2020) Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. Computers and Industrial Engineering, Volume 139, January, 105058 DOI:10.1016/j.cie.2018.01.025.

- Fletcher, S. R., Johnson, T., Adlon, T., Larreina, J., Casla, P., Parigot, L., Alfaro, P. J., Otero, M. D. M. (2020) Adaptive automation assembly: Identifying system requirements for technical efficiency and worker satisfaction. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 139, January, 105772. DOI: 10.1016/j.cie.2019.03.036.
- Gazzaneo, L., Padovano, A., Umbrello, S. (2020) Designing smart operator 4.0 for human values: A value sensitive design approach. *Procedia Manufacturing*, 42, pp. 219–226. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.073.
- Ghobakhloo, M. (2020) Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, Volume 252, 10 April, 119869. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869.
- Gruchmann, T., Mies, A., Neukirchen, T., Gold, S. (2020) Tensions in sustainable warehousing: including the blue-collar perspective on automation and ergonomic workplace design. *Journal of Business Economics*, 14 May. DOI: 10.1007/s11573-020-00991-1.
- Heisler, W. & Bandow, D. (2018) Retaining and engaging older workers: A solution to worker shortages in the U.S. *Business Horizons*, 61, pp. 421–430. DOI: 10.1016/j.bushor.2018.01.008.
- IndustriALL Global Union (2017) The Challenge of Industry 4.0 and the Demand for New Answers. [Online]. Disponível em: http://www.industrial-union.org/sites/default/files/uploads/documents/2017/SWITZERLAND/Industry4pointoConf/draft_integrated_industry_4.0_paper_5_17.10.2017.pdf
- International Organization for Standardization (2018) The new industrial revolution. *ISOfocus*, November-December, 23 (6). DOI:10.1016/0016-3287(91)90079-H.
- Jones, R., Lawrence, J., Green, H., Wells, T., Bennett, S., Jans, C., Groves, P., Reese Owen, R., Haque, S., Parke, S., Pugh, J. Sivarajah, N., Ragonnet-Cronin, M., Hamblin, K., Georghiou, E., Samnakay, P., Shelton, P., Bowden, C., Dally, J., Shabier, M., Miles, C. (2016) Future of an Ageing Population. The Government Office for Science. [Online]. Disponível em: https://www.ageing.ox.ac.uk/files/Future_of_Ageing_Report.pdf.
- Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekour, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., Walter, T. (2020) Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 139, January, 105678. DOI: 10.1016/j.cie.2019.01.052.

Karacay, G. (2018) Talent Development for Industry 4.0. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing. [Online]. Cham, Switzerland, Springer Nature, pp. 123–136. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_7.

Kim, S., Moore, A., Srinivasan, D., Akanmu, A., Barr, A., Harris-Adamson, C., Rempel, D. M., Nussbaum, M. A. (2019) Potential of Exoskeleton Technologies to Enhance Safety, Health, and Performance in Construction: Industry Perspectives and Future Research Directions. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 7, pp. 185–191. DOI: 10.1080/24725838.2018.1561557.

Klitou, D. (CARSA), Conrads, J. (CARSA), Rasmussen, M. (CARSA), Probst, L. (PwC), Pedersen, B. (PwC). (2017a) Digital Transformation Monitor: Country: Portugal ‘INDÚSTRIA 4.0’. [Online]. Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Indústria_4.pdf

Klitou, D. (CARSA), Conrads, J. (CARSA), Rasmussen, M. (CARSA), Probst, L. (PwC), Pedersen, B. (PwC). (2017b) Germany: Industrie 4.0. Digital Transformation Monitor. [Online]. Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie_4.0.pdf

Lima, T.M. & Coelho, D.A. (2019) A participatory ergonomics approach to prevention of musculoskeletal disorders in Portuguese small and medium enterprises: Ergo@Office. International Journal of Human Factors and Ergonomics, 6, pp. 273–295. DOI: 10.1504/ijhfe.2019.104597.

Loch, C.H., Sting, F.J., Bauer, N., Mauermann, H. (2010) The globe: How BMW is defusing the demographic time bomb. Harvard Business Review, 88 (3), pp. 99-102

Mayrhofer, W., Rupprecht, P., Schlund, S. (2019) One-fits-all vs. Tailor-made: User-centered workstations for field assembly with an application in aircraft parts manufacturing. Procedia Manufacturing, 39, pp. 149–157. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.287.

Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., Zogopoulos, V. (2018) Cyber- Physical Systems and Education 4.0 -The Teaching Factory 4.0 Concept. Procedia Manufacturing, 23, pp. 129–134. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.04.005.

New Atlas. (2019) Audi trials two exoskeletons for overhead work. [Online] Disponível em: <https://newatlas.com/health-wellbeing/audi-exoskeleton-trial-ingolstadt/> [Acedido em 3/6/2020].

New Atlas. (2018a) Ford makes a EksoVetst exoskeletons available to employees worldwide after successful US trials. [Online] Disponível em:

<https://newatlas.com/eksovest-exoskeleton-rolled-out-worldwide-ford/55804/>

[Acedido em 3/6/2020].

New Atlas. (2018b) Hyundai to trial assistive exoskeletons in North American factories.

[Online] Disponível em: <https://newatlas.com/hyundai-factory-exoskeletons/56936/>

[Acedido em 3/6/2020]

Osterrieder, P., Budde, L., Friedli, T. (2020) The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, pp. 1–16. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.08.011.

Pereira, A.S., Shitsuka, D.M., Parreira, F.J., Shitsuka, R. (2018) *Metodologia da Pesquisa Científica*, 1ª Edição. Universidade Federal de Santa Maria, UAB/NTE/UFMSM. Disponível:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1

Peruzzini, M., Grandi, F., Pellicciari, M. (2020) Exploring the potential of Operator 4.0 interface and monitoring. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 139, January, 105600. DOI: 10.1016/j.cie.2018.12.047.

Peruzzini, M. & Pellicciari, M. (2017) A framework to design a human-centred adaptive manufacturing system for aging workers. *Advanced Engineering Informatics*, 33, pp. 330–349. DOI: 10.1016/j.aei.2017.02.003.

Petrillo, A., Felice, F. De, Cioffi, R., Zomparelli, F. (2016) Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities. In: *Digital Transformation in Smart Manufacturing Figure*, pp. 1–20. DOI:10.5772/57353.

Ras, E., Wild, F., Stahl, C., Baudet, A. (2017) Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools - Challenges and roadmap. In: *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 428–432. DOI: 10.1145/3056540.3076192.

Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J., Fast-Berglund, Å. (2016a) The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pp. 677–686. DOI: 10.1007/978-3-319-51133-7_80.

Romero, D., Mattsson, S., Fast-Berglund, Å., Wuest, T., Gorecky, D., Stahre, J. (2018) Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Volume 536, pp. 473-481. DOI:10.1007/978-3-319-99707-0_59.

Romero, D., Stahre, J., Taisch, M. (2020) The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 139, January, 106128 DOI: 10.1016/j.cie.2019.106128.

Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å. F., Gorecky, D. (2016b) Towards an operator 4.0 typology: A human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. In: *CIE 2016: 46th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, pp. 1–11. ISSN: 2164-8689

Ruppert, T., Jaskó, S., Holczinger, T., Abonyi, J. (2018) Enabling technologies for operator 4.0: A survey. *Applied Sciences*, 8, pp. 1–19. DOI: 10.3390/app8091650.

Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., Cevikcan, E. (2018) A Conceptual Framework for Industry 4.0. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer Series in Advanced Manufacturing. [Online]. Cham, Switzerland, Springer Nature, pp. 3-23. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_1.

Schinner, M., Valdez, A.C., Noll, E., Schaar, A.K., Letmathe, P., Ziefle, M. (2017) 'Industrie 4.0' and an Aging Workforce – A Discussion from a Psychological and a Managerial Perspective. In: Zhou J., Salvendy G. (eds) *Human Aspects of IT for the Aged Population. Applications, Services and Contexts*. ITAP 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10298, pp. 537–556, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-58536-9_43.

Schroeder, W. (2016) Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine capitalism in the age of digitalisation. Friedrich Ebert Stiftung. [Online] Disponível em: https://www.fes-london.org/fileadmin/user_upload/publications/files/FES-London_Schroeder_Germanys-Industrie-40-Strategy.pdf.

Sgarbossa, F., Grosse, E.H., Neumann, W.P., Battini, D., Glocke, C. H. (2020) Human factors in production and logistics systems of the future. *Annual Reviews in Control*, Volume 49, pp. 295-305. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2020.04.007.

Ustundag, A., Cevikcan, E., Kadaifci, Ç., Oztaysi, B., (2017) The Changing Role of Engineering Education in Industry 4.0 Era. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer Series in Advanced Manufacturing. [Online]. Cham, Switzerland, Springer Nature, pp. 137-151. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_8

Walker, A. (2015) The Emergence of Age Management in Europe. *International Journal of Organisational Behaviour*, Volume 10 (1), pp. 685-697. ISSN: 1440-5377.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D. (2015) Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production

systems. IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 3, pp. 579-584 48. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.143.

Wiktorsson, M., Noh, S. D., Bellgran, M., Hanson, L. (2018) Smart Factories: South Korean and Swedish examples in manufacturing settings. Procedia Manufacturing, Volume 25, pp. 471–478. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.128.

Wired. (2015) An Exoskeleton That Acts Like a Wearable Chair. [Online] Disponível em: <https://www.wired.com/2015/03/exoskeleton-acts-like-wearable-chair/> [Acedido em 4/6/2020].

Wolf, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C., Zierler, C., Winter, E. (2018) Current and Future Industrial Challenges: Demographic Change and Measures for Elderly Workers in Industry 4.0. Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XVI, Fascicule 1, February, pp. 67-76. ISSN 2601 – 2332.

Xu, L. Da, Xu, E.L., Li, L. (2018) Industry 4.0: state of the art and future trends. International Journal of Production Research, 56:8, pp. 2941-2962. DOI: 10.1080/00207543.2018.1444806.

Zolotová, I., Papcun, P., Kajáti, E., Miškuf, M., Mocnej, J. (2020) Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies. Computers & Industrial Engineering, Volume 139, January, 105471. DOI: 10.1016/j.cie.2018.10.032.