



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Cobots na Indústria 4.0 Impactos Sociais e Económicos

Cristiana Jesus Loureiro

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

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

Covilhã, Outubro de 2018

Aos meus pais, irmãos e avós; aos meus amigos; e um agradecimento especial à Beatrice Santos e ao Prof. Doutor Fernando Santos.

Resumo

Estamos, provavelmente, no início da quarta revolução industrial, e com ela assistimos ao surgimento de novas tecnologias e paradigmas comerciais e económicos. Tal como em revoluções industriais anteriores, as mudanças não se irão restringir à indústria, terão também implicações em todos os aspetos das nossas vidas.

A evolução das tecnologias de informação e comunicação (TIC) e os avanços na área da inteligência artificial, estão a conduzir a um nível de automatização até agora nunca alcançado. Grande parte desta automatização está-se a fazer com recurso a uma nova conceção de robots. Apesar dos primeiros robots industriais terem surgido na década de 60 e já serem amplamente aceites como uma forma de melhorar a qualidade e a produtividade há pelo menos três décadas, questões como a segurança dos trabalhadores e os elevados investimentos para aquisição desta tecnologia acabam por se tornarem um obstáculo na sua implementação. Assim, diante desses desafios, uma nova geração de robots, designados *Cobots*, “*collaborative robots*”, está a ganhar destaque. Com os *Cobots* será possível ultrapassar as barreiras de segurança e perspetivar um trabalho lado a lado com os trabalhadores em segurança.

Face ao exposto, este trabalho procura identificar e explorar as novas tecnologias associadas à Indústria 4.0, em particular os *Cobots*, assim como os principais desafios inerentes a implementação destas. Para além dos impactos tecnológicos, procura-se ainda apresentar os impactos económicos e sociais resultantes dessa nova revolução.

Palavras-chave

Indústria 4.0, Inteligência Artificial, Robôs, Cobots

Abstract

We are probably in the beginning of the fourth industrial revolution, and with it we witness the emergence of new technologies and new commercial and economics paradigms. Such as in the previous industrial revolutions, the changes will not be restricted to the industry, but they will also have implications in all the aspects of our lives.

The developments in the information and communication technologies associated with the advances in artificial intelligence, are leading to a level of automation never achieved before. Much of this automation is being done using a new design of robots. The first industrial robots emerged in the 1960s and they are already being widely accepted as a way to improve quality and productivity, at least for the last three decades, issues such as workers safety and high prices of this technology have become an obstacle to its implementation. Thus, facing this challenge, a new generation of robots, called Cobots, “collaborative robots”, is gaining importance. With the cobots it is possible overcome the safety issues and work side by side with the human workers in safety.

The above, this work seeks to identify and exploit the new technologies associated with the industry 4.0, in particular the cobots, as well the main challenges in their implementation. In addition to the technological impacts are presented the economic and social impacts resulting from this new revolution.

Keywords

Industry 4.0, Artificial Intelligence, Robots, Cobots

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Indústria 4.0	3
2.1. Conceitos e Princípios	3
2.2. Smart Factory	5
2.3. Smart City	7
2.4. História	8
2.5. Tecnologias	11
2.6. Desafios	14
Capítulo 3 - Robôs Colaborativos (<i>Cobots</i>)	17
3.1. Inteligência Artificial (IA)	17
3.2. Robôs	20
3.3. <i>Cobots</i>	28
3.3.1. Enquadramento e Definição	28
3.3.2. Evolução e Potencial Tecnológico	32
Capítulo 4 - Impactos Sociais e Económicos	41
Capítulo 5 - Conclusão	49
Referências bibliográficas	51

Lista de Figuras

Figura 1 - Instalações da fábrica da <i>AUDI</i> em San José Chiapa, México.....	6
Figura 2 - Revoluções Industriais e respectivas inovações.	9
Figura 3 - <i>Sophia</i> com <i>Jimmy Fallon</i> no programa americano: <i>The Tonight Show</i> , em Abril de 2017.	19
Figura 4 - <i>Sawyer</i> o robô “Barmen”, no <i>Henn Na café</i> em Tóquio (Kyodo, 2018).	20
Figura 5 - <i>Unimate</i> , primeiro robô industrial, na fábrica da <i>General Motors</i> , em 1961, New Jersey, EUA (Tzafestas, 2016).	22
Figura 6 - Total de robôs industriais comercializados de 2004 a 2016 (IFR, 2018).	23
Figura 7 - Maiores mercados fornecedores de robôs industriais em 2016, unidades exportadas (IFR, 2018).	23
Figura 8 - Países mais automatizados, número de robôs industriais instalados por cada 10 000 empregados na indústria, em 2016 (IFR, 2018).	24
Figura 9 - <i>Gigafactory</i> da <i>Tesla</i> no Nevada, EUA (Tesla Gigafactory, 2018).	27
Figura 10 - Alguns dos robôs existentes na <i>Gigafactory</i> da <i>Tesla</i> no Nevada, EUA (Tesla Gigafactory, 2018).	28
Figura 11 - Robô colaborativo <i>Baxter</i>	31
Figura 12 - Robô <i>Baxter</i> e um trabalhador humano a trabalharem em conjunto na produção, na empresa, <i>The Rodon Group</i>	32
Figura 13 - Unidades de robôs colaborativos vendidos de 2012 a 2015.	33
Figura 14 - Instalação do robô colaborativo <i>UR5</i> na <i>Linatex</i>	33
Figura 15 - Número de robôs tradicionais e de robôs colaborativos vendidos em 2016.	34
Figura 16 - <i>Kuka cobots</i> , Adão e Eva, na fábrica da Audi, Hungria (Audi, 2018).	35
Figura 17 - <i>Cobots</i> desenvolvidos na <i>Carnegie Mellon University</i> (Veloso & al, 2015).	39
Figura 18 - Unidades, em milhões, de <i>IoT</i> instaladas, entre 2014 e 2016, e uma estimativa para o ano de 2020.....	42
Figura 19 - Paragens de autocarros digitais e <i>smart parking</i> , respetivamente, em Barcelona, Espanha.	43
Figura 20 - Casa construída através de impressão 3D e fachada do restaurante, que serve comida impressa em 3D, <i>Food Ink</i> , em Londres.	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais desafios da Indústria 4.0.	16
Tabela 2 - Tipos de robôs (IFR, 2018).	21
Tabela 3 - Tipos de interação entre robôs e humanos (Thiemermann, 2005).	26
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos humanos e robôs (Vagas & al, 2015).....	26
Tabela 5 - Principais diferenças entre robôs industriais tradicionais e robôs colaborativos (Djuric & al, 2016).	30
Tabela 6 - Exemplos de modelos de Cobots existentes no mercado (Cobotsguide, 2018).	38

Lista de Acrónimos

CPS	Cyber-physical Systems
IoT	Internet of Things
AI	Artificial Intelligence
IoS	Internet of Services
IoP	Internet of People
IoE	Internet of Energy
SPD	Social Product Development
NIST	National Institute of Standards and Technology
CAD	Computer-Aided Design
ANI	Artificial Narrow Intelligence
AGI	Artificial General Intelligence
ASI	Artificial Super Intelligence
IFR	International Federation of Robotics
EUA	Estados Unidos da América
USD	United States Dollars
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NASA	National Aeronautics and Space Administration
AFL-CIO	The American Federation of Labor and Congress of Industrial Organizations
PIB	Produto Interno Bruto
IA	Inteligência Artificial

Capítulo 1 - Introdução

Ao longo da história a indústria tem sofrido transformações, mudanças tecnológicas e inovações, que ficaram conhecidas por revoluções industriais. A primeira revolução industrial foi marcada pelo surgimento da máquina a vapor e a mecanização do trabalho. A segunda revolução industrial trouxe a eletricidade, linhas de produção e a implementação da produção em massa em larga escala. A terceira era industrial caracterizou-se pelo surgimento dos computadores, da internet e o início da automação, quando as primeiras máquinas e robôs começaram a substituir os trabalhadores nas linhas de produção. Todas estas revoluções industriais não só afetaram os sistemas produtivos, mas também os mercados de trabalho e os sistemas de educação vigentes, o que levou ao desaparecimento de algumas profissões e surgimento de outras.

Atualmente, vivemos, cada vez mais, numa aldeia global, num mundo informatizado e ligado via internet, praticamente sem limites à circulação da informação. Por outro lado, temos consumidores cada vez mais exigentes, principalmente no que se refere a qualidade e rapidez de aquisição dos produtos, e na personalização dos mesmos. Diante disto, a indústria enfrenta um grande desafio, produzir numa linha de montagem, produtos personalizados, e em tempo recorde.

Entramos assim na designada era da indústria 4.0 ou 4ª revolução industrial (Marr, 2016). Impulsionada pelos avanços da digitalização e da robótica e pela necessidade de ganhar força competitiva para sobreviver nos mercados globalizados, esta nova abordagem promete ser a chave para alcançar o grau de flexibilidade necessária para superar os desafios atuais de alta variabilidade, da personalização e da redução dos ciclos de vida dos produtos.

Neste contexto, tecnologias disruptivas como *Cyber Physical System (CPS)* auto-organizam-se, monitorizam processos e criam uma cópia virtual do mundo real. *Internet of Things (IoT)* conecta máquinas, objetos e pessoas em tempo real e a *Cloud Computing* oferece soluções de armazenamento, bem como a troca e a gestão de informações, permitindo que os processos de produção e as comunicações sejam combinadas para criar valor para as organizações (Paiva Santos & al, 2018).

Nos cenários 4.0, computadores e a automatização irão trabalhar em conjunto de uma forma completamente nova, com robôs e máquinas ligados remotamente, dotados da capacidade de aprender e se controlarem mutuamente, sem praticamente intervenção humana. No entanto, é de esperar, como já aconteceu em revoluções anteriores, que alguns profissionais sejam substituídos e conseqüentemente leve à extinção de alguns postos de trabalho e ao aparecimento de novos. Nesse sentido, a força de trabalho será então obrigada a adaptar-se

para que possa desempenhar novas funções, de forma a aprender a lidar com as novas situações e tecnologias e aceitar novos processos de aprendizagem para melhorar o seu desempenho constantemente. Com a utilização correta das novas tecnologias e a adequação dos recursos humanos a estes novos ambientes, é previsível o aumento da produtividade, da qualidade e a redução dos tempos de entrega e dos preços dos produtos (Baldassari & al, 2017).

Sendo a indústria transformadora a base da economia de uma nação, influência fortemente a subsistência das pessoas. Assim, as tecnologias emergentes podem mudar o jogo dos impactos nos modelos de produção, abordagens, conceitos e até negócios. Neste contexto, muitas das principais nações líderes industriais têm investido em iniciativas nacionais para promover a produção avançada, inovação e o design para o mundo globalizado, como por exemplo, “*Industrie 4.0*” na Alemanha ou “*Industrie du Futur*” na França (Bauer & al, 2016).

Assim, já é amplamente aceite que a implementação das novas tecnologias associadas à Indústria 4.0, irá causar mudanças profundas, não só na indústria, no desenvolvimento de novos produtos, serviços e modelos de negócios, mas também na sociedade, alterando drasticamente os modelos organizacionais existentes. Portanto, tornar o processo de produção mais digital e inteligente será uma exigência para as atuais e futuras empresas.

Perante isto, este trabalho procura identificar e explorar as novas tecnologias relacionadas com a Indústria 4.0, em particular os *Cobots*, assim como os principais desafios inerentes à implementação destas. Procura-se ainda apresentar os possíveis efeitos económicos e sociais dessa nova revolução, com enfoque especial no impacto nos mercados de trabalho.

Capítulo 2 - Indústria 4.0

2.1. Conceitos e Princípios

O conceito de Indústria 4.0 também designado como a quarta revolução industrial (Mosconi, 2015), parece representar o próximo passo na produção industrial. São várias as visões propostas daquela que poderá vir a ser a próxima revolução industrial, em resultado disso não há ainda uma definição unânime entre os investigadores.

Segundo Kagermann & al (2013) a Indústria 4.0 é “um novo nível de organização e gestão da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos”. Enquanto para Hermann & al (2016) a Indústria 4.0 pode ser descrita como “um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor”.

Pode dizer-se que a indústria 4.0 vem facilitar a interconexão e a informatização da indústria tradicional, através da integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e softwares ligados em rede, usados para prever, controlar e planear melhores resultados comerciais e sociais. Além disto, os novos tipos de produção e processos industriais vão girar em torno da colaboração homem-máquina e da realização de produtos simbióticos.

Os princípios fundamentais da indústria 4.0 incluem: integração de dados em rede, flexibilidade de adaptação, auto-organização inteligente, interoperabilidade dos processos de produção, otimização, comunicação segura e orientação aos serviços (Vogel-Heuser & al, 2016). Apesar de ainda não haver uma definição consensual sobre o tema, não existem grandes discrepâncias em relação as suas características entre a comunidade de investigadores. Khan & al. (2017) descrevem detalhadamente os seis princípios em que se baseia a Indústria 4.0:

- Interoperabilidade - Sendo considerado um dos maiores avanços da indústria 4.0, interoperabilidade representa a capacidade de dois sistemas se entenderem e usarem as funcionalidades um do outro (Chen, & al., 2008). Isso possibilitará a sintetização de software, aplicação de soluções, processos e contextos de negócios através da diversidade, heterogeneidade e autonomia dos procedimentos. Múltiplos agentes baseados em produtos, encomendas, processos, máquinas, controlos, inteligência artificial e algoritmos apresentam um compreensivo processo de interoperabilidade. De acordo com Berre, & al. (2007), a arquitetura da interoperabilidade inclui quatro níveis: i) Interoperabilidade operacional: que ilustra a estrutura geral dos conceitos, padrões, línguas e relações entre os diversos agentes da Indústria 4.0; ii) Interoperabilidade sistemática: responsável pela identificação das diretrizes,

princípios, metodologias, padrões, domínios e modelos; iii) Interoperabilidade técnica: que vai articular ferramentas e plataformas para o desenvolvimento técnico das tecnologias de informação e comunicação e softwares relacionados e iv) Interoperabilidade semântica: responsável por assegurar a troca de informações entre os diferentes grupos de pessoas e os vários níveis das instituições;

- Virtualização - CPS e simulação computacional possibilitarão monitorizar os processos e criar uma cópia virtual do ambiente físico. Através da conexão dos sensores de dados por toda a fábrica será possível analisar dados para prever falhas e adaptar-se às mudanças (Michael & al., 2015). Além disso, as abordagens de simulação serão uma importante ferramenta de análise e feedback para suportar a tomada de decisão em tempo real (J. Xu & al., 2016);
- Descentralização - A procura crescente por produtos diferenciados e personalizados aumenta a dificuldade em controlar sistemas de forma centralizada. Descentralização é a habilidade dos CPS em tomar decisões autonomamente, tornando o processo de produção mais flexível e eficiente;
- Função em tempo real - É a capacidade de recolha, análise e transmissão dos dados, em tempo real, para deteção de falhas no momento em que elas ocorrem, assegurando assim uma melhor assertividade na tomada de decisão e possibilitando encontrar soluções alternativas para lidar com as adversidades;
- Orientação para os serviços - Dados e serviços serão disponibilizados em rede aberta, tornando a *Internet of Service* (IoS) ainda mais robusta, além de poderem ser utilizados por outros participantes, que podem ser internos ou externos à empresa. Dessa forma, a personalização de processos de produção e operação terão maior flexibilidade de adaptação de acordo com as especificações dos clientes (Rüttimann & al., 2016);
- Modularidade - Neste conceito a fábrica é dividida em módulos. Sistemas modulares podem ser facilmente ajustados no caso de flutuações sazonais ou mudanças nas características do produto. A flexibilidade de adaptação das fábricas na Indústria 4.0 em mudar requerimentos pela substituição ou expansão individual de módulos, melhora a otimização de recursos e conseqüentemente reduz os custos.

Esta transformação digital também inclui a integração horizontal e vertical no processo de produção (Shafiq & al., 2015). A primeira refere-se à integração dos vários sistemas informáticos e de comunicação usados nas diferentes etapas do processo de manufatura e no planeamento empresarial permitindo uma colaboração mais próxima entre clientes, fornecedores e parceiros de negócios, a fim de criar um ecossistema eficiente que vai envolver materiais, energia e informação, dentro da empresa e entre várias empresas. A integração vertical ocorre aquando da integração dos vários sistemas informáticos e de comunicação nos diferentes níveis hierárquicos, desde o nível dos sensores e atuadores, passando pela produção até chegar à gestão, ou seja, é a conversão do existente sistema de

produção fixo e clássico para um processo moderno controlado pela rede. A integração dos vários subsistemas dentro da fábrica vai criar sistemas de produção mais flexíveis e adaptáveis e juntamente com a integração da engenharia ao longo de toda a cadeia de valor será possível reduzir o gap de informação entre os diferentes estágios da produção, permitindo responder às atuais exigências de customização dos produtos e serviços. Tanto a integração horizontal, como a vertical têm como objetivo proporcionar uma solução de ponta a ponta.

2.2. Smart Factory

Devido às novas possibilidades disponibilizadas pelas tecnologias emergentes, esta revolução está a ser considerada como a era da “inteligência”. Não só as fábricas se tornarão “inteligentes”, assim como toda a produção e os respetivos produtos. A produção “inteligente” é um conceito amplo de indústria com o propósito de otimizar a produção e as transações de produtos fazendo pleno uso de informação avançada e tecnologias de produção. É considerado como um novo modelo de produção baseado na ciência e tecnologias inteligentes, que aumenta consideravelmente o design, produção, gestão e integração ao longo de todo o ciclo de vida de um produto. Desta forma, todo o ciclo de vida do produto pode ser facilitado através do uso de sensores inteligentes, modelos de tomada de decisão adaptados, materiais avançados, dispositivos inteligentes e análise de dados (Li & al, 2017).

A visão da indústria 4.0 está relacionada ao surgimento de fábricas “inteligentes” (*Smart Factories*). Segundo Radziwon & al (2014), *Smart Factory* é uma solução de produção que permite, num mundo em constante aumento de complexidade, processos de produção mais flexíveis e adaptativos, assim como uma rápida e dinâmica resolução de problemas. Nestes novos ambientes de produção, os *CPS* vão assim conectar as máquinas, componentes e softwares em rede, facilitando o processo de troca de dados e a sua monitorização. Através da *IoT*, *IoS* e a *Internet of People* (*IoP*) serão geradas novas conexões máquina-máquina, homem-máquina ou homem-homem, permitindo o acesso a uma enorme quantidade de dados. Na *Cloud*, esses dados podem ser armazenados e interpretados com a ajuda de tecnologias como *Big data analytics*, possibilitando prever possíveis falhas e adaptar em tempo real qualquer alteração nas condições (Richert, 2016).

A fábrica da *AUDI* em *San José Chiapa*, no México, é um exemplo de *smart factory*, com um nível de automatização em torno de 89%. As instalações que incluem mais de 700 robôs na linha de produção foram totalmente planeadas e operacionalizadas no mundo virtual, através do uso da simulação computacional. Assim, todos os automóveis produzidos podem ser controlados virtualmente, em tempo real, em toda a fábrica.

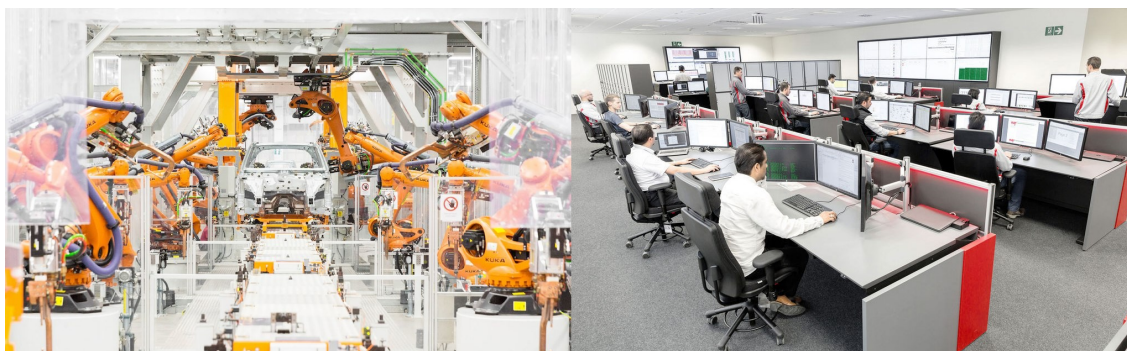


Figura 1 - Instalações da fábrica da AUDI em San José Chiapa, México.

Em suma, nos cenários da Indústria 4.0, as máquinas, dispositivos e produtos “inteligentes” comunicam e negociam entre si para se reconfigurarem para uma produção flexível de múltiplos tipos de produtos. Estes novos sistemas integrarão sensores capazes de recolher uma grande quantidade e variedade de dados em tempo real, essenciais para apoiar a tomada de decisão. Desta forma, os produtos e peças “inteligentes” fornecerão informação que permitirá adaptar de forma praticamente automática o sistema de produção às necessidades específicas de cada cliente. Como este processo será altamente automatizado, as pessoas que trabalham nesta área poderão dedicar-se mais a atividades que geram valor para o cliente, ao invés de simplesmente monitorizar máquinas ou sistemas de produção.

Neste contexto, surge o conceito de *Social product development (SPD)* (Peterson & al), ainda relativamente novo, e pode ser descrito como o uso social das tecnologias informáticas, ferramentas e meios de comunicação para influenciar o ciclo de vida do produto em qualquer fase. *SPD* envolve a participação dos clientes, ou indivíduos qualificados, na idealização e desenvolvimento de novos produtos, ou seja, uma coparticipação. Indivíduos estes, internos ou externos à empresa, que através do uso das tecnologias proporcionadas pelas organizações, podem participar no desenvolvimento dos produtos.

A inteligência artificial também vai desempenhar um papel importante nos sistemas de produção inteligentes, na medida em que vai proporcionar características típicas como aprendizagem, raciocínio e atuação, reduzindo a necessidade de envolvimento humano e consequentemente minimizar os erros. Por exemplo, a composição dos materiais e a produção podem ser organizados automaticamente, os processos e as operações de produção podem ser monitorizados e controlados em tempo real (Oztemel, 2010).

2.3. Smart City

As mudanças acima mencionadas não se limitarão somente às fábricas, mas também o meio envolvente sofrerá alterações para se adaptar a esta nova realidade, transformando também as cidades, em cidades “inteligentes” (*Smart Cities*).

O conceito de *Smart City* ainda suscita alguma confusão, de acordo com Bakici & al (2012), pode ser designada como “uma cidade com alta tecnologia, intensiva e avançada, que liga as pessoas, os elementos de informação e a cidade usando novas tecnologias a fim de criar uma cidade mais sustentável e ecológica, comércio competitivo e inovador, e aumentar a qualidade de vida”. Roblek & al (2016) defende que é fundamental para uma *Smart city* “compreender seis fatores nas suas políticas de desenvolvimento: economia inteligente, mobilidade inteligente, ambiente inteligente, pessoas inteligentes, vida inteligente e governação inteligente”. A “inteligência” de uma cidade está relacionada com a sua capacidade de proporcionar infraestruturas e serviços que melhorem a vida dos seus cidadãos (Cretu, 2012).

Internet of Things (IoT), *Internet of Services (IoS)*, *Internet of People (IoP)* e *Internet of Energy (IoE)* podem ser consideradas como elementos que criam a ligação entre a iniciativa das cidades inteligentes e a Indústria 4.0 (Lom & al, 2016). Sendo que a indústria sempre foi uma parte do conceito geral das cidades, estas não podem ser vistas separadamente. A interconexão destes sistemas pode mudar radicalmente todo o processo de funcionamento das fábricas e a sua relação com os clientes, desde o design até à entrega. Nestes novos ambientes de produção, os cidadãos podem comunicar-se diretamente com a fábrica de forma muito mais eficiente, por exemplo, fazendo solicitações de alterações das características dos produtos durante o processo de fabrico. Isto significa que a produção irá ser organizada com base na procura corrente e poderá ser obtida através dos serviços de comércio eletrónico, por exemplo. Os dados recolhidos através destes novos modos de interação possibilitarão prever o comportamento dos consumidores e repassar estas informações diretamente para os ambientes de produção, incluindo planeamento e recursos humanos.

A *smart city* envolve assim disciplina técnica, económica, humanitária e aspetos legais. Os cidadãos deixam de ser somente utilizadores e passam a ser as principais partes interessadas. Desta forma, os negócios tornam-se parceiros, os produtos tornam-se “inteligentes” durante todo o seu ciclo de vida, e o transporte é um serviço inteligente com planeamento, eficácia e eficiência avançados. Em última análise, a *smart city* têm como objetivo a sustentabilidade das cidades, para melhorar a qualidade de vida, a segurança dos cidadãos e proporcionar eficiência energética (Lom & al, 2016).

Em 2017, Singapura foi eleita a melhor *smart city* a nível mundial, pela *Juniper Research*. Este estudo avalia os benefícios das iniciativas de *smart cities* tendo em conta as áreas da mobilidade, saúde, segurança e produtividade. Em 2014 com o lançamento do programa “*Smart Nation*” Singapura instalou sensores e câmaras para rastrear praticamente toda a cidade, por exemplo, a limpeza dos espaços públicos, densidade das multidões ou até mesmo o movimento de cada veículo. Tudo isto produz uma grande quantidade de dados que estão disponíveis numa plataforma pública online designada *Virtual Singapore*. Singapura destaca-se ainda pela sua mobilidade inteligente e tecnológica, com a implementação de taxas de congestionamento, sensores nas estradas e estacionamentos inteligentes, uso de vídeos de vigilância para detetar atividade criminosa e conectividade *wireless*.

Contudo, a transição para tornar-se uma *smart city* leva algum tempo. Muitas são ainda as mudanças necessárias para as cidades se tornarem mais eficientes, atrativas, inclusivas e competitivas. Além disso, como ocorre em todas as transformações, serão exigidos novos paradigmas, como no aspeto das cidades, e na inovação da forma como as cidades, negócios, cidadãos e académicos pensam e trabalham em conjunto. O conceito de *smart city* está longe de ser apenas limitado à mera aplicação de tecnologias nas cidades.

2.4. História

A indústria está em constante evolução com o objetivo de encontrar a melhor e a mais eficiente maneira de fabricar produtos. Desde a mecanização do trabalho manual ocorrida no século XVIII até à automatização dos sistemas produtivos atuais, os avanços tecnológicos incrementaram significativamente a produtividade e alteram o panorama industrial. Atualmente, a adoção de sistemas flexíveis e reconfiguráveis que integram máquinas “inteligentes” e interconectadas, que atuam de forma autónoma para fornecer produtos e serviços cada vez mais personalizados está novamente a transformar os cenários de produção industrial. A figura 2 representa um resumo das quatro revoluções industriais.

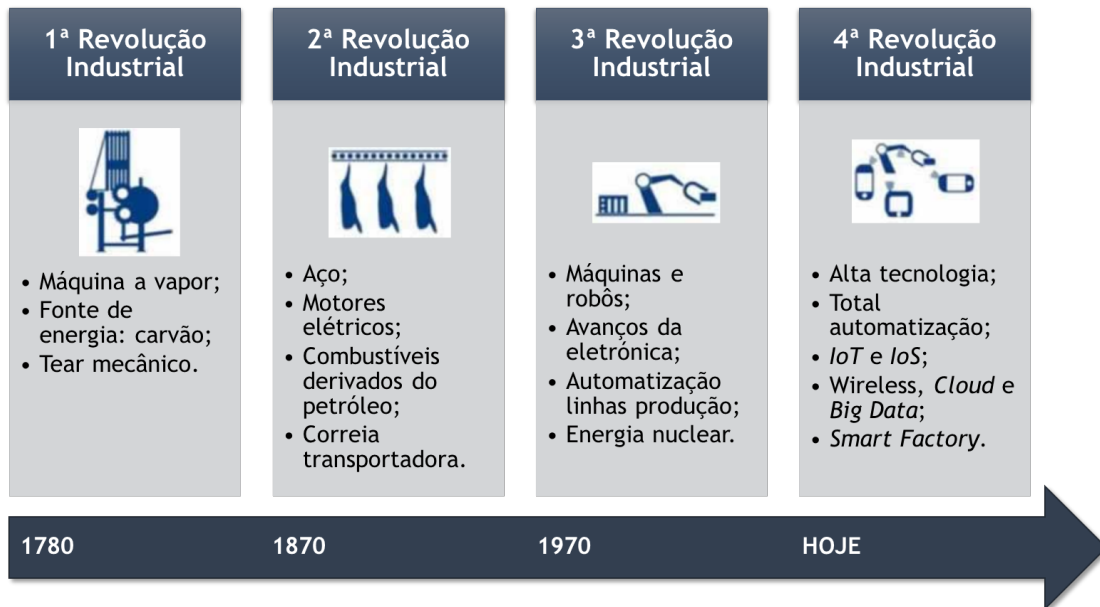


Figura 2 - Revoluções Industriais e respectivas inovações.

- **1ª Revolução Industrial**

Ocorreu em 1780, quando a máquina de vapor, em que a fonte de energia era o carvão, foi aprimorada e entrou nas fábricas substituindo os trabalhos manuais. Assim os custos foram reduzidos e foi possível aumentar a produtividade nas indústrias siderúrgicas, metalúrgicas e principalmente na indústria têxtil, um dos setores mais afetados nessa época. Quando os teares manuais passaram a ser mecânicos, considerado um dos grandes marcos desta revolução, provocou altos níveis de desemprego, o que desencadeou mudanças drásticas na sociedade.

- **2ª Revolução Industrial**

Quase um século depois, a 2ª Revolução Industrial foi marcada pela introdução do aço, dos motores elétricos e dos combustíveis derivados do petróleo nos processos produtivos. Foi marcada também pelos avanços dos materiais, que levaram a produção do aço fino e às peças metálicas de precisão e intercambiáveis e pela standardização do trabalho. Outro destaque desta revolução foi a utilização da correia transportadora, aplicada na altura num matadouro. Em 1913, estes avanços convergiram na cadeia de montagem de *Henry Ford*. Por fim, foi possível fabricar grandes lotes de produtos complexos e de alta qualidade a um preço acessível, o que deu início à produção em massa. Uma das consequências da produção em massa foi a desqualificação da força laboral, dando continuidade a uma tendência iniciada pela máquina a vapor: diminuição da mão de obra qualificada e os empregos que exigiam mais formação migraram da unidade de produção para os escritórios.

- **3ª Revolução Industrial**

Marcada por uma série de avanços decisivos, inicia há quase 50 anos a 3ª Revolução Industrial. O surgimento dos semicondutores permitiu integrar unidades de controlo e processo em máquinas e robôs, enquanto que os avanços da eletrónica e dos sistemas computadorizados aumentaram a “inteligência” e a flexibilidade das máquinas. A automatização das linhas de produção e a possibilidade de controlar várias máquinas ao mesmo tempo reduziu a necessidade de operários. Começa-se assim a assistir à substituição dos trabalhadores nas linhas de produção por máquinas e robôs, o que acentuou ainda mais uma tendência que exigia trabalhadores com mais conhecimentos e habilidades. Nesta década várias crises afetaram os mercados, o que levou com que o sistema de produção em massa de *Ford* tivesse problemas para se adaptar às novas tendências e preferências dos consumidores. Assim os métodos de produção em massa, empregados desde o início do século XX, necessitavam de ser repensados através de uma abordagem inovadora e flexível e que permitisse a adaptação da produção segundo as necessidades dos clientes (Nasser, 2014). Nesse contexto, a solução encontrada pela *Toyota* foi um novo enfoque na gestão que passava pela maximização de valor para o cliente, através do foco na redução de todos os tipos de desperdícios na produção. Esse sistema de produção da *Toyota*, que mais tarde ficou conhecido no mundo como *LEAN* procurava melhorar os processos para atingir elevados níveis de produtividade, flexibilidade, desempenho, qualidade, para além da redução dos custos de produção. Deste modo foi possível fabricar uma maior quantidade e variedade de produtos sem perder a qualidade ou aumentar os custos (Pereira & al, 2017). Nesse sentido a filosofia *LEAN* mostrou ser mais eficaz que os métodos de produção em massa, à medida que encontrou gradualmente formas para combinar as vantagens dos pequenos lotes de produção com as economias de escala. O reconhecimento do “conhecimento” como capital humano juntamente com as tecnologias da informação provocou impactos importantes no crescimento económico, ajudando a promover o surgimento da quarta revolução industrial.

- **4ª Revolução Industrial**

O fenómeno da Indústria 4.0 foi mencionado pela primeira vez em 2011 na Feira de Hannover, na Alemanha, como a proposta para o desenvolvimento de um novo conceito de Economia política Alemã baseado em estratégias de alta tecnologia (Mosconi, 2015).

Esta quarta revolução é maioritariamente baseada em *Cyber Physical Systems (CPS)*, marcada pela total automatização e digitalização dos processos, o uso de eletrónica e tecnologias de informação na produção e serviços, *Internet of Things (IoT)*, a conexão de máquinas através de *wireless*, a integração do conhecimento, partilha de dados através da *Cloud* e o processamento destes pelo *Big Data* (V. Roblek, 2016). As consequências destes desenvolvimentos tecnológicos, como por exemplo, a impressão 3D, o desenvolvimento da venda de serviços online, exames médicos a partir de casa e até a possibilidade de

encomendar comida diretamente de uma loja, irão ter um impacto profundo e acarretar mudanças em grande parte dos modelos de negócio (Sommer, 2015).

2.5. Tecnologias

Como mencionado anteriormente, a indústria 4.0 é marcada pelo alto desenvolvimento da automação e digitalização dos processos, uso da eletrônica e das tecnologias de informação e comunicação na produção e nos serviços, integração e análise, em tempo real e em massa, de dados. Muitas destas tecnologias já existem há algum tempo, no entanto, agora passam a ser aplicadas num novo contexto, para digitalizar e integrar os sistemas de informação, desde o design, passando pela produção, até ao uso dos produtos. Integradas com as novas tecnologias de software emergentes para novos resultados, totalmente inovadores, como modelagem, simulação, virtualização e fabricação digital. O desenvolvimento de *CPS* para monitorizar e controlar os processos físicos, é sem dúvida uma das mais promissoras tecnologias. Expõem-se as seguintes tecnologias como sendo as fundamentais para a implementação da indústria 4.0 (Zhong & al, 2017):

- *Internet of Things (IoT)* - proposta pela primeira vez em 1999 pelo MIT, e considerada uma das bases tecnológicas da Indústria 4.0, a *IoT* refere-se a um mundo de cooperação em rede, em que objetos físicos “coisas” são remotamente detetadas e controladas para uma forte integração entre os mundos físico e digital, criando redes de “coisas” capazes de recolher e transportar dados para outros objetos através da Internet, graças a um conectividade embutida no nível eletrónico e de software (Sarma, 2000). A *IoT* vai habilitar o *CPS* através da conexão de todos os recursos distribuídos no ambiente industrial o que possibilitará obter grandes quantidades de dados em tempo real e um profundo conhecimento do ambiente. Além disso, operadores e máquinas poderão executar tarefas complexas com menos defeitos (Womack & al., 1996). A tecnologia *RFID* é um exemplo de aplicação da *IoT* que tem sido usada para identificar objetos em armazém, na produção, em centros de distribuição e até em retalhistas na fase de eliminação ou reciclagem (Wang & al, 2010). Um exemplo é verificado na empresa *DHL*, onde a *IoT* é utilizada para fornecer dados de expedição, armazenamento, distribuição e gestão da cadeia de abastecimento por todo o mundo;
- *Cyber Physical System (CPS)* - sistema através do qual objetos físicos e software estão intimamente interligados, permitindo aos diferentes componentes interagirem uns com os outros de inúmeras formas para trocarem informação (Baheti & al, 2011). O *CPS* permite aos sistemas virtuais trabalharem de forma autónoma, monitorizar e controlar os processos físicos via microcontroladores, atuadores, sensores e interfaces de comunicação (Lavrin & al., 2010), fazendo uso de um vasto número de metodologias transdisciplinares como teoria cibernética, engenharia mecânica,

design, processos, sistemas de produção e ciências da computação. Carros autônomos e robôs colaborativos são exemplos da aplicação de sistemas *CPS*;

- *Cloud Computing* - é um termo geral que se refere à distribuição de serviços computacionais por meio de recursos visíveis e escaláveis ao longo da internet (Armbrust & al, 2010). A *Cloud Computing* oferece soluções de armazenamento, bem como viabiliza a troca e gestão de informações, permitindo que processos de produção e de negócios sejam combinados para criar valor para as organizações (Paiva Santos & al., 2018). Com base nas recomendações do *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, a *cloud* ideal deve ter como características um amplo acesso à rede, agrupamento de recursos, rápida elasticidade e serviços mensurados. A *cloud* deve ainda ser implementada de forma pública e privada e a sua plataforma, infraestrutura e software devem funcionar como um serviço (Mell & al, 2011). Com os grandes avanços nas tecnologias da informação e comunicação, *cloud computing* poderá vir a ser considerado um serviço fundamental, assim como a água, a eletricidade e o telemóvel (Buyya & al, 2009). A *cloud storage*, armazenamento de dados na *cloud* virtual, através de aplicações como a *Dropbox* e *Gmail*, são exemplos de *cloud computing* já amplamente utilizados no nosso dia a dia;
- *Big Data Analytics* - com o desenvolvimento acentuado em direção às tecnologias da internet e à *IoT*, os dados tornar-se-ão muito mais acessíveis e omnipresentes em muitas indústrias, resultando na acumulação de dados que necessitam ser processados (Manyika & al., 2011). Esses dados poderão ser recolhidos a partir de diferentes fontes em todos os níveis do sistema de produção (por exemplo, sensores, atuadores, controladores, etc.) e dos sistemas de gestão de informação (como por exemplo ERP, MES, PLM, etc.) para serem processados e utilizados em aplicações analíticas, por exemplo fornecendo resultados estatísticos para os utilizadores sobre as condições das máquinas, permitindo identificar instabilidades nos processos ou questões de qualidade. Os ambientes *big data* estão gradualmente a ganhar forma no setor da produção, no entanto, o elevado número de dados torna demasiado complexo a análise dos dados para os softwares convencionais. Embora os avanços na *IoT* tenham simplificado a recolha de dados, a grande questão que se coloca é como realizar o processamento adequado destes dados, de forma a fornecer a informação correta com o propósito correto e no tempo certo (Lee & al, 2013). Um exemplo de aplicação *Big Data* que está presente no nosso dia a dia é realizado pela Netflix, que com base nas visualizações dos utilizadores sugere automaticamente conteúdos similares;
- *Robots* - estão a tornar-se cada vez mais autônomos, flexíveis e cooperativos, e irão interagir uns com os outros e trabalhar lado a lado com os humanos e aprender com eles em segurança (Waldner & al, 2015). Um robô autônomo é utilizado para executar, como a própria palavra sugere, autonomamente operações de produção e também para trabalhar em locais onde os humanos estão limitados a operar,

umentando a segurança a flexibilidade e versatilidade. *Os cobots*, são o foco deste trabalho e este assunto será desenvolvido mais detalhadamente no capítulo três. Um restaurante em Pasadena, da cadeia de *fast food CliBurger*, irá implementar o primeiro robô que cozinha hamburgers. *Flippy*, como foi designado, incorpora visão artificial e térmica, ajuda a cozinhar os hamburgers e coloca-os no pão prontos a serem entregues aos clientes;

- *Simulation* - a melhoria do potencial computacional (clusters e cloud), está a aumentar o potencial das abordagens de simulação como ferramentas importantes de análise e feedback para apoiar a tomada de decisão em tempo real (Xu & al., 2016). Através da sensorização de toda a fábrica será possível que os operadores testem e otimizem as configurações da máquina, do produto ou mesmo dos processos produtivos no mundo virtual antes da sua transição física, reduzindo os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade (Bahrin & al., 2016). Além de garantir a segurança da produção em termos de tempo e custos. Modelos 2D e 3D podem ser criados para comissionamento e para simulação dos tempos de ciclo, consumo de energia ou para testar aspetos ergonómicos das instalações de produção. O software CAD é um exemplo de programa de simulação 3D amplamente utilizado;
- *Augmented Reality (AR)* - Os sistemas baseados em realidade aumentada podem suportar uma variedade de serviços, tais como, selecionar peças num armazém, envio de instruções de reparação para os dispositivos móveis. A indústria consegue usar a realidade aumentada para proporcionar aos trabalhadores informação em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho. Os trabalhadores podem receber instruções de reparação enquanto observam um equipamento (Waldner & al, 2015). A aplicação AR permite, através de smartphone ou tablet, visualizar a projeção de imagens virtuais sobre o mundo real. A AR é também uma das tecnologias chave para o ambiente da Indústria 4.0, à medida que melhora a transferência de informações entre os mundos digital e físico (Romero, et al., 2016) e auxilia na cooperação entre os seres humanos e as máquinas.

Todas estas tecnologias, entre outras, juntamente com a descentralização dos processos, levar-nos-ão a um sistema de produção completamente inovador, mais eficiente e eficaz, onde a oferta será cada vez mais dinâmica, o ciclo de vida do produto mais variável, e onde os consumidores deixarão de ser meros clientes, passando a serem partes integrantes dos processos de manufatura.

2.6. Desafios

Nos últimos anos, o aumento da digitalização nos sistemas de produção tem determinado mudanças em toda a cadeia de valor, desde a forma como é realizada a aquisição das matérias-primas até o seu uso final e recuperação (Deloitte, 2015). Nesse contexto, diversos fatores estão a levar os sistemas globais de produção ao limite: o fato de vivermos num mundo cada vez mais conectado, faz com que a rápida difusão de ideias, acelere o desenvolvimento de novos produtos e modelos de negócios; a evolução dos requerimentos dos clientes, que buscam produtos e serviços cada vez mais personalizados; a globalização, que torna os mercados mais competitivos; o constante envelhecimento da força laboral que leva à diminuição da eficiência; o paradigma da sustentabilidade da produção, relacionado a questões como a eficiência energética, redução de resíduos e o consumo responsável de recursos naturais, que devem ser tratados como prioridades. Para ultrapassar esses desafios, a indústria precisa encontrar novas formas e metodologias para atingir os seus objetivos de alta eficiência e produtividade e ainda manter a sua força competitiva.

Já nas revoluções industriais anteriores se observou que a par das novas inovações, advém novos desafios e problemas associados. A adaptação da indústria e da sociedade às mudanças nem sempre ocorre da maneira mais favorável, sendo assim, diversos fatores vão influenciar na implementação bem-sucedida destas inovações. Por exemplo, com a evolução das tecnologias de informação e comunicação, os ataques cibernéticos também evoluíram e estão a ficar cada vez mais sofisticados, podendo comprometer ativos cruciais das empresas e causar impactos sérios e globais. Como no caso do *WikiLeaks*, em que documentos sigilosos dos Estados Unidos foram expostos ao mundo.

A tabela 1 resume alguns dos principais desafios identificados na revisão da literatura.

Privacidade e Segurança	A par da terceira revolução, a segurança dos dados continua a ser um dos maiores desafios na era da Indústria 4.0. Com o aparecimento de novas tecnologias como a <i>cloud</i> e a elevada integração do processo de manufatura em rede, num sistema estendido e complexo a que diferentes <i>players</i> podem ter acesso ao longo de toda a cadeia de valor, as empresas tornam-se mais vulneráveis a ataques contra a segurança e à divulgação de dados sigilosos. Assim, a maior preocupação da <i>cloud computing</i> está relacionada com a privacidade e segurança (De Chaves & al, 2011). É importante garantir a proteção das infraestruturas da empresa, assim como dos dados e informações contidas nos sistemas contra o uso indevido e o acesso não autorizado. Por exemplo, uma prática que já é uma realidade, é a espionagem virtual empresarial. Através desta, as empresas
------------------------------------	--

	<p>concorrentes podem ter acesso a informações confidenciais e à propriedade intelectual, o que levaria as empresas atacadas a perderem a sua vantagem a nível de conhecimento, bem como a sua competitividade (Liebi, 2016).</p>
Acesso à Internet	<p>Os CPS e os dispositivos “inteligentes” precisam de acesso em tempo real a plataformas como o <i>big data</i>. Para isso, é necessária uma rede de banda larga rápida. No controlo de dispositivos físicos, qualquer atraso na comunicação cria um problema para o próximo dispositivo físico em linha. Assim, o acesso à internet também pode ser destacado como um grande desafio para as redes industriais, que na maioria dos casos ainda não possuem capacidade para manter uma eficiente e rápida comunicação entre os diversos dispositivos. Ultimamente têm-se falado muito na internet 5G, que promete uma velocidade incomparável em relação as anteriores. Apesar de ainda estar na fase inicial, a tecnologia 5G, é um desenvolvimento extremamente importante que irá possibilitar aos ambientes 4.0 realizar comunicações, longas, fiáveis e seguras (Varghese & al, 2014). No entanto, ainda deverá demorar alguns anos até que possa ser implementada em larga escala.</p>
Interoperabilidade	<p>Os sistemas de produção estão a tornar-se mais complexos e grandes quantidades de dados estão cada vez mais disponíveis nestes novos ambientes. Dado que diferentes dispositivos produzem dados em diferentes formatos, a análise e processamento destes em linguagem acessível a todos os dispositivos também é um dos grandes desafios da Indústria 4.0. Na última década, a introdução da <i>IoT</i> nos sistemas produtivos contribuiu para o aumento da quantidade, da heterogeneidade e da velocidade dos dados gerados ao nível de produção (Khan & Turowski, 2016). Assim, para garantir a interoperabilidade, é fundamental a adoção de uma abordagem padronizada que possibilite a comunicação eficaz entre todos os intervenientes e processos, integrando a produção, sistemas e partes interessadas de gestão. Ou seja, a interoperabilidade é um desafio que levanta problemas de acessibilidade, multilinguismo, segurança, privacidade, subsidiariedade, o uso de padrões abertos, fontes de software abertas e soluções multilaterais (IDAbc, 2004).</p>
	<p>Sendo esta revolução marcada pela elevada automatização, a pergunta que se coloca é qual será o papel dos trabalhadores da Indústria 4.0? A experiência com as revoluções anteriores mostrou que embora alguns postos de trabalho possam desaparecer, sempre</p>

<p>Desemprego</p>	<p>haverá o surgimento de novos. Perante isto, já é amplamente reconhecido que os novos cenários propostos da Indústria 4.0 terão implicações significativas na natureza do trabalho, já que transformarão a concepção, a fabricação, a operação dos produtos e serviços nos sistemas de produção (Michael, et al., 2015). Toda esta complexidade tecnológica levará a novas necessidades, em que conseqüentemente as pessoas serão, diariamente, obrigadas a aprender a lidar com as novas tecnologias. As empresas terão de investir em programas de formação e desenvolvimento contínuo de forma a preparar os trabalhadores para esta nova realidade. Uma outra questão que se coloca é a elevada média de idade da força de trabalho, que pode ser um entrave à sua adaptação nesses novos ambientes. É também previsível que muitas tarefas e postos de trabalho sejam substituídos por robôs, visto que eles são mais eficientes. Por outro lado, os custos de aquisição desta tecnologia têm caído drasticamente nos últimos anos. A consequência da implementação de robôs em grande escala na indústria pode representar a extinção de muitos empregos, principalmente os relacionados com trabalhos monótonos e repetitivos.</p>
<p>Investimentos</p>	<p>Para impulsionar a implementação destas novas tecnologias e formar funcionários com habilidades específicas é necessário investimento por parte das empresas e dos governos. O investimento e suporte financeiro é um problema recorrente na maioria das novas iniciativas baseadas nas tecnologias da produção, principalmente quando falamos das Pequenas e Médias Empresas (PME), que podem não ter meios financeiros para iniciar esta transição.</p>
<p>Educação</p>	<p>As mudanças associadas à Indústria 4.0 terão implicações não só tecnológicas, mas também sociais e económicas. Isto porque o aparecimento de sistemas tecnológicos altamente sofisticados, vão exigir cada vez mais trabalhadores com habilidades específicas (Kagermann, et al., 2013). Ou seja, as qualificações e aptidões exigidas aos trabalhadores serão mais altas em relação às atuais. Deste modo o processo de aprendizagem, ou seja, a educação desempenhará um papel crucial na formação das novas forças de trabalho. O papel do fator humano continuará a ser necessário para a fábrica do futuro. Para uma visão mais competitiva, as empresas devem reconhecer que as aptidões e qualificações da força de trabalho serão a chave do sucesso para uma fábrica altamente inovadora (Gehrke & al, 2015).</p>

Tabela 1 - Principais desafios da Indústria 4.0.

Capítulo 3 - Robôs Colaborativos (Cobots)

3.1. Inteligência Artificial (IA)

A inteligência artificial está presente na nossa vida diária, embora discretamente, em diversas tecnologias que usamos. Os sistemas e objetos baseados na IA estão constantemente a surgir e a melhorar o nosso quotidiano, colaborando para aumentar a produtividade humana, segurança e saúde, além de afetar a forma como nos entretemos e comunicamos. As assistentes virtuais, *Siri* da *Apple* e a *Cortana* da *Microsoft*, veículos de condução autónoma, sistemas de reconhecimento de voz ou aparelhos domésticos inteligentes, são alguns exemplos conhecidos da aplicação da IA.

Fazendo um enquadramento baseado no progresso histórico e nos desenvolvimentos atuais, a IA pode ser entendida como a continuação dos esforços em automatizar tarefas que vem ocorrendo desde o início da primeira revolução industrial. Mas o que é a inteligência artificial afinal? Em 1956, John McCarthy considerado o pai da Inteligência artificial em conjunto com outros investigadores definiu IA como: “a habilidade das máquinas em compreender, pensar e aprender numa forma semelhante aos seres humanos” (Crevier, 1993).

Desde então, foram muitas as transformações tecnológicas, apesar disso ainda não se chegou a um consenso no que toca à definição de Inteligência artificial. Após um longo período de evolução, atualmente a IA pode ser descrita como uma manifestação da revolução digital, com a convergência de três tendências: *big data*, aprendizagem de máquina e *cloud computing*. Designando-se então como um conjunto de algoritmos e aprendizagem de máquina, que combinam várias técnicas e estão associados com sensores e outros programas de computador (Mialhe & al, 2017).

Aprendizagem de máquina, muitas vezes confundida com a IA, é um subcampo desta baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana. É uma tecnologia que permite aos computadores aprender diretamente através de exemplos e experiências na forma de dados. Estes sistemas são configurados para uma tarefa, dando-lhes uma enorme quantidade de dados para usarem como exemplos de como pode ser executada (Donnelly & al, 2017). De acordo Turgul & al., (2016), as aplicações potenciais da IA são infinitas. *Big Data* e *Cloud Computing* foram descritas anteriormente na secção 2.3.

Os sistemas de inteligência artificial têm capacidade para realizar operações semelhantes à aprendizagem e à tomada de decisões, imitando os processos biológicos, com especial ênfase

no processo cognitivo humano (Mahdavinejad & al, 2017). Yang & al (2017) distingue três fases da IA:

- *Artificial narrow intelligence (ANI)* - inteligência restrita a uma única área funcional, como por exemplo a infância nos seres humanos. Especialização numa só área, pretende reproduzir um comportamento observado com a maior precisão possível. Os robôs industriais que são sistemas inteligentes e que usam a aprendizagem de máquina são exemplos deste tipo de IA;
- *Artificial general intelligence (AGI)* - considerado um nível já mais avançado, sistema inteligente dotado de consciência real e que é capaz de pensar e de raciocinar da mesma forma que um ser humano. Neste ponto a inteligência das máquinas iguala-se à dos seres humanos. Esta IA pode não só assimilar informação como a *ANI*, mas também modificar o seu próprio comportamento;
- *Artificial super intelligence (ASI)* - fase final da explosão da inteligência, em que a IA ultrapassa a inteligência humana em todos os campos. Mais inteligente que os humanos em todas as maneiras.

O supercomputador da *IBM*, *Watson*, é o exemplo mais poderoso da aplicação da inteligência artificial atualmente. Ele consegue aceder a 90 servidores com um armazenamento de dados combinado de mais de 200 milhões de páginas de informação, o que torna as suas aplicações, da tecnologia de computação cognitiva subjacente, quase infinitas. Embora este ainda se encontre na fase *ANI*, no sentido em que opera estritamente dentro dos cenários para que foi programado, é capaz de extrair dados de cerca de um bilião de documentos, analisar as informações e obter respostas precisas em menos de três segundos, mesmo para perguntas mais complicadas. As potencialidades das suas capacidades ficaram mundialmente conhecidas em 2011 quando o supercomputador derrotou o campeão humano num concurso de perguntas e respostas denominado “*Jeopardy*”.

Um outro exemplo que demonstra que não existem limites para a inteligência artificial, ocorreu em 2015, quando o supercomputador diagnosticou uma leucemia secundária rara num paciente internado num hospital de Tóquio. O doente tinha sido diagnosticado pelos médicos com uma leucemia mieloide aguda, um tipo de cancro no sangue. A sua recuperação invulgarmente lenta após os tratamentos despertou inquietação nos médicos responsáveis, que pensaram tratar-se de um tipo de leucemia diferente. Com a ajuda da *Watson*, que cruzou referências e dados de dezenas de milhões de documentos e investigações em oncologia em todo o mundo, com dados genéticos do paciente, foi possível concluir o diagnóstico em apenas 10 minutos, enquanto os cientistas teriam levado duas semanas (Rohaidi, 2016).

À medida que a IA converge com o progresso da robótica, *cloud computing* e produção de alta precisão, surgirão pontos críticos em que mudanças tecnológicas significativas ocorrerão

muito rapidamente. Por exemplo, os avanços na visão e audição dos robôs, combinados com a inteligência artificial, permitem que estes percebam melhor o ambiente em que estão inseridos.

Pode-se dizer então que a robótica é uma forma de aplicação da IA. No entanto, enquanto a robótica representa uma manifestação física, que podemos ver a operar, a inteligência artificial manifesta-se de forma imaterial e virtual. Ou seja, em uma máquina autónoma, a IA é a inteligência e refere-se às funções cognitivas, enquanto a robótica se refere às funções motoras. Carros autónomos e robôs humanoides são exemplos da convergência entre a IA e a robótica (Mialhe & al, 2017).

O robô humanoide mais avançado existente atualmente é a Sophia, criada pela *Hanson Robotics* em 2015. Com uma incrível semelhança humana, o robô Sophia através do uso da inteligência artificial baseada na *cloud* é capaz de processar dados visuais e fazer reconhecimento facial e de voz para comunicar verbalmente com as pessoas. Além disso, consegue gesticular, sorrir, expressar sentimentos, para além de ser dotada de um excêntrico sentido de humor. Foi o primeiro robô a receber cidadania de um país, apesar de ter sido criada em Hong Kong, foi-lhe concedida cidadania da Arábia Saudita, em outubro de 2017 (Stone, 2017). Já acostumada às luzes dos holofotes, Sophia é a mais recente estrela da campanha publicitária da empresa de telecomunicações Altice.



Figura 3 - Sophia com Jimmy Fallon no programa americano: *The Tonight Show*, em Abril de 2017.

Os exemplos anteriores demonstram que as máquinas podem compreender a linguagem humana, associar a informação e responder, o que levou o mundo e a indústria a interessarem-se pela IA. Isso levanta algumas questões, medos e riscos imediatos, pois alguns mecanismos de inteligência artificial já conseguem desempenhar melhor algumas funções que os humanos, os robôs industriais são um desses exemplos.

3.2. Robôs

A IA permitiu à robótica a percepção, os robôs podem sentir o ambiente por meio de sensores integrados ou visão computacional. Com base nos avanços feitos na mecatrónica, engenharia eletrónica e computação, a robótica está cada vez mais sofisticada. Para alcançar níveis cada vez mais altos de automação, a interação entre máquinas e humanos torna-se uma questão central desta revolução (Bahrin & al, 2016).

Cada vez mais presentes nas nossas vidas, os robôs são máquinas, ou dispositivos eletromecânicos ou biomecânicos ou grupo de dispositivos, que reúnem informações sobre o seu ambiente e usam essa informação para seguirem instruções e fazerem um determinado trabalho, podendo executar tarefas repetitivas ou pré-programadas. Existe uma enorme variedade de tamanhos, formas e tipos de aplicações dos robôs. Uns são usados na indústria, enquanto outros são mais experimentais e usam a inteligência artificial para se comportarem cada vez mais como criaturas vivas, capazes de agir com autonomia em ambientes de mudança (Tirgul & al, 2016). Os robôs são usados em fábricas por todo o mundo, porque eles são rápidos, podem levantar grandes pesos, podem operar em ambientes perigosos para os humanos, e podem repetir os mesmos movimentos várias vezes de uma forma precisa (Giuliani & al, 2010).

Um exemplo de como os robôs estão a ser aplicados em diversas áreas e cada vez mais presentes no nosso dia a dia, um café em Tóquio (*Henn Na Café*), tem agora um robô “*Barmen*”. Um robô colaborativo da *Rethink Robotics*, foi o modelo escolhido para desempenhar estas funções. O procedimento funciona da seguinte forma: os clientes compram uma senha com um código QR numa máquina de vendas automática, que é posteriormente digitalizada pelo robô. A partir do momento que o pedido é processado, o robô leva o copo até à máquina, aperta o botão da bebida desejada e volta a colocar o copo no balcão com a bebida (Kyodo, 2018).

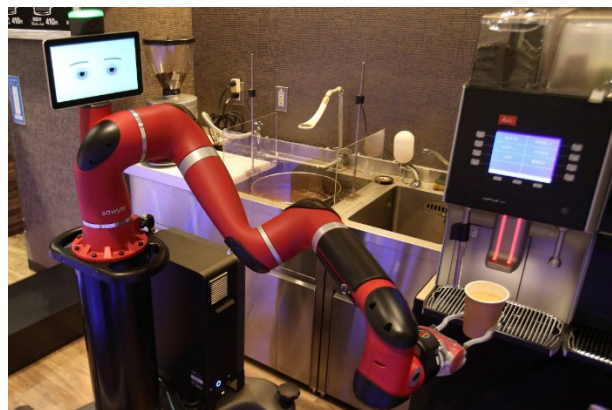


Figura 4 - Sawyer o robô “Barmen”, no *Henn Na café* em Tóquio (Kyodo, 2018).

De acordo com Kaku (2015), neste momento os robôs situam-se no nível 1 de consciência, sabem localizar-se e estão a começar a entrar no nível 2, o das emoções. Segundo a sua teoria da consciência, que é definida como: a capacidade de criar um modelo da nossa posição no espaço, a nossa relação com outros organismos e a relação com o tempo; e se divide nos três níveis seguintes:

- Nível 1 - boa percepção da sua localização no espaço, por exemplo os répteis;
- Nível 2 - consciência das emoções e da hierarquia social, por exemplo macacos;
- Nível 3 - capacidade de conseguir planear o futuro, é o caso dos humanos.

Diversos parâmetros são usados para categorizar os robôs, sendo a classificação mais tradicional baseada na sua morfologia, o que normalmente confere uma representação visual e funcional do seu uso. Mas tendo em consideração o tema deste trabalho e segundo os critérios da *International Federation of Robotics (IFR)*, estes podem ser classificados do ponto de vista do domínio de aplicação, da seguinte forma:

Robôs Industriais	Robôs Industriais Tradicionais
	Robôs Colaborativos
Robôs Comerciais	
Robôs Domésticos	
Robôs Militares e de Segurança	
Robôs Sociais e de Entretenimento	

Tabela 2 - Tipos de robôs (IFR, 2018).

No passado, os robôs eram usados predominantemente por especialistas em robótica, no entanto, atualmente, o seu campo de aplicação está cada vez mais vasto. Eles estão a ficar cada vez mais sofisticados e capazes de fazer qualquer coisa. Independentemente da complexidade do sistema, há uma troca de informações entre o ambiente, o robô e o humano (Sekoranja & al, 2013).

O primeiro robô industrial a ser colocado em operação foi o *Unimate* (ver Fig. 5), em 1961. Desenvolvido por George Devol e Joseph Engelberger, este robô foi instalado na linha de montagem da *General Motors*, em New Jersey, nos Estados Unidos, e colhia peças de automóvel quentes de uma máquina de fundição e colocava-as em água (Tzafestas, 2016).

Desde então, os robôs revolucionaram muitas indústrias, promovendo melhores condições para os trabalhadores, uma vez que possibilitaram realizar tarefas que podem ser prejudiciais para saúde do trabalhador, além de ajudarem a aumentar a produtividade. No entanto, na maioria dos casos, tinham que ser instalados num espaço de trabalho isolado dos humanos, separados por grades e com sinais e avisos de perigo, de forma a evitar acidentes que podem

levar à morte dos operários humanos. Segundo o *Barclays Equity Research*, de 1984 a 2013 morreram um total de 27 pessoas, a nível mundial, em acidentes com robôs industriais. Especialistas consideram que estes números não são de todo preocupantes, tendo em conta que morrem, em média, 5 pessoas por ano vítimas de ataques de tubarão, ou seja, a probabilidade de morrer devido a um acidente com um robô industrial é consideravelmente inferior. Quando acontecem acidentes, para além de bastante raro, são na sua maioria devido a erros dos operadores ou erros cometidos durante a programação, como por exemplo um trabalhador entrar na zona de operação do robô (Waurzyniak P., 2016).



Figura 5 - *Unimate*, primeiro robô industrial, na fábrica da *General Motors*, em 1961, New Jersey, EUA (Tzafestas, 2016).

O acidente mais recente aconteceu em junho de 2015, na fábrica da *Volkswagen*, em *Baunatal*, na Alemanha. Um trabalhador estava a montar o robô, quando este o agarrou e o esmagou contra uma placa de metal. Segundo o porta-voz da empresa tudo indica que à partida se tratou de um erro humano e não de uma falha do robô (Publico, 2015).

Como mencionado anteriormente, nas décadas de 60 e 70 a robótica industrial começa a sofrer transformações e os robôs passam a substituir os seres humanos em muitos trabalhos na indústria (Tzafestas, 2016).

Segundo dados da *JR Automation Technologies*, desde 1975 que a instalação de robôs industriais tem aumentado gradualmente, tendo-se verificado um crescimento mais acentuado a partir da segunda década do século XXI, como pode ser observado na figura 6. Estima-se que em 2016, 10% da produção industrial já era automatizada, e prevê-se que este valor aumente significativamente durante a próxima década, segundo a *International Federation of Robotics (IFR)*.

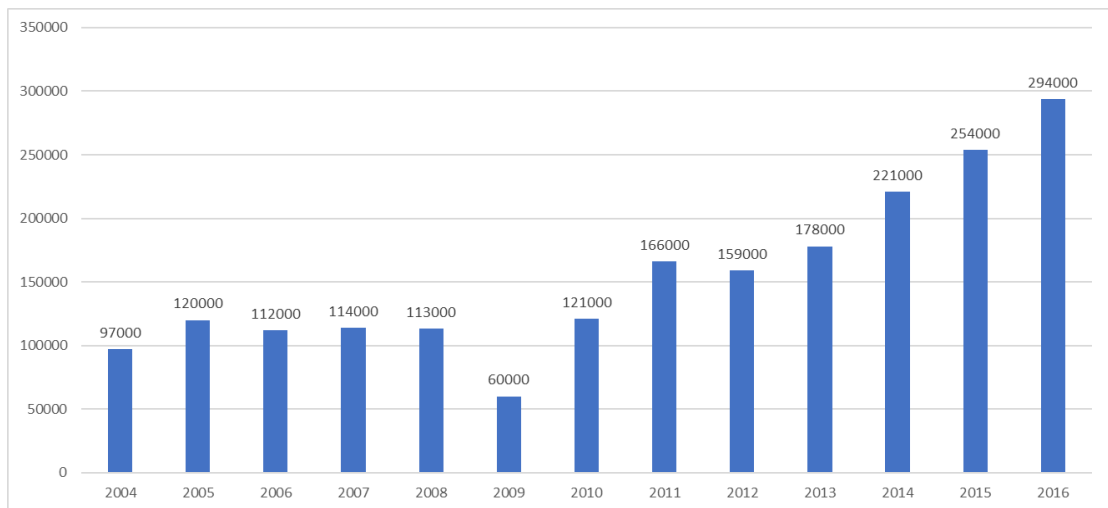


Figura 6 - Total de robôs industriais comercializados de 2004 a 2016 (IFR, 2018).

Os altos requisitos da qualidade, a habilidade para responder rapidamente aos desafios do mercado, o controlo da diversidade, assim como a redução dos custos de produção, são estratégias chave para sobreviver nos mercados atuais (Muller & al, 2013). Assim, para ganhar força competitiva, as empresas terão que adaptar as suas metodologias e estratégias a esta nova realidade. Muitas dessas transformações envolverão a implementação de robôs nas instalações industriais.

Hoje em dia os robôs já são amplamente implementados na indústria automóvel e apesar da sua produção ainda ser diminuta, Michio Kaku, futurista, prevê que no futuro a indústria robótica venha a ser maior que a indústria automóvel. Pode-se corroborar esta ideia com os dados do crescimento da comercialização de robôs nos últimos anos. A China, por exemplo, já está a bater recordes históricos no setor da automação, sendo de longe o maior mercado de robôs do mundo em vendas anuais, segundo dados do *IFR*, representado na figura 7.

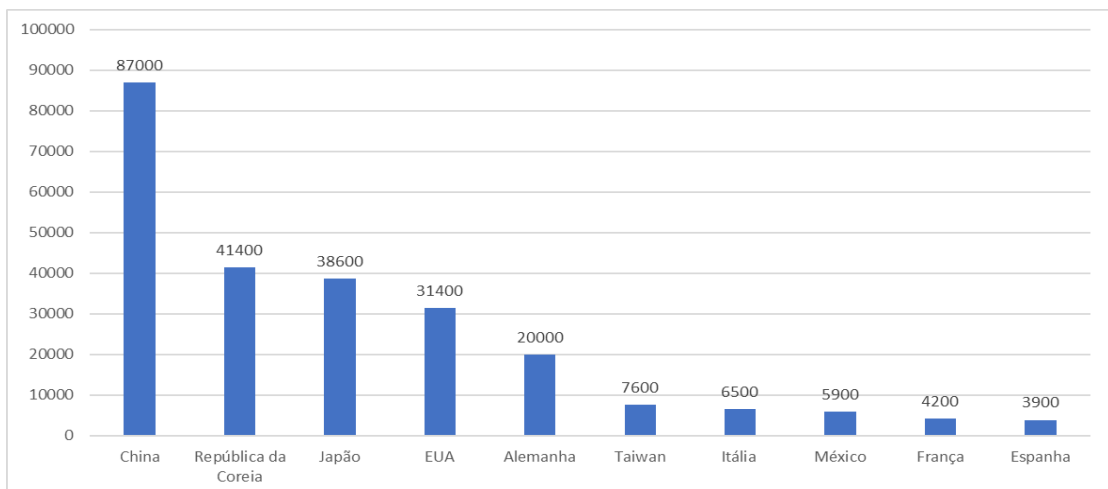


Figura 7 - Maiores mercados fornecedores de robôs industriais em 2016, unidades exportadas (IFR, 2018).

Apesar da China ser o maior exportador de robôs do mundo, ainda está longe de ser o país mais automatizado. Como se pode observar na figura 8, a República da Coreia está claramente à frente na automatização industrial, tendo um total de 631 robôs implementados por cada 10 000 empregados na indústria. Este número é 753% superior à média mundial. Portugal ainda está muito abaixo da média, com apenas 58 robôs implementados, quando comparados com os 74 da média mundial.

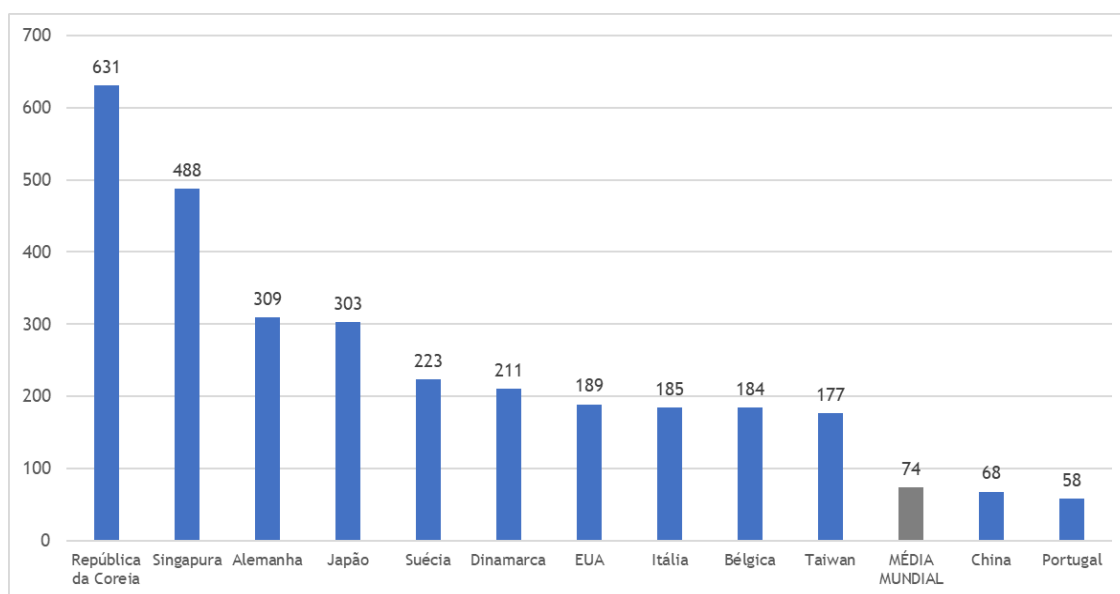


Figura 8 - Países mais automatizados, número de robôs industriais instalados por cada 10 000 empregados na indústria, em 2016 (IFR, 2018).

Um dos maiores desafios associados à implementação dos robôs industriais é a segurança. Os robôs tradicionais são máquinas pesadas que se movem rapidamente colocando os humanos em perigo, para além da possibilidade de causar danos fatais. Perante isso, foram introduzidas normas nacionais e internacionais, diretivas e leis de forma a garantir a segurança dos operadores humanos que trabalham com robôs. Tendo em conta que os espaços de trabalho não envolvem somente humanos, robôs, mas também outros equipamentos, estes também devem ser levados em conta.

Atualmente, existem as seguintes normas sobre os robôs industriais:

- *EN ISO 10218-1*: Robôs e dispositivos robóticos - requisitos de segurança para robôs industriais - Parte 1: Robôs;
- *EN ISO 10218-2*: Robôs e dispositivos robóticos - requisitos de segurança para robôs industriais - Parte 2: Sistemas de robôs e integração;
- *ISO/TS 15066* - Robôs e dispositivos robóticos - Robôs Colaborativos.


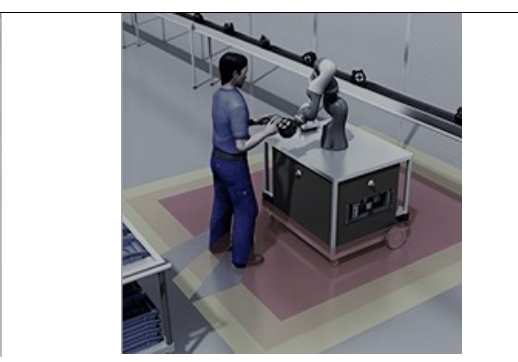
A implementação de robôs industriais, sejam eles tradicionais ou colaborativos, necessita de uma previsão exata e bem documentada de todos os possíveis problemas de segurança causados pela estreita interação entre operadores humanos e robôs. A avaliação de risco é assim da maior importância durante a concepção da célula de trabalho e deve seguir os seguintes padrões de segurança das normas *ISO*:

- *ISO 10218* - apresentada em 2011, cujo foco são os robôs industriais tradicionais. Os robôs colaborativos ainda eram uma tecnologia recente para a época, e embora sejam mencionados, não são abordados em detalhe. A norma estabelece que a nível da segurança, o principal meio para proteger os humanos dos equipamentos robóticos é separá-los através do uso de proteções físicas e dispositivos de proteção;
- Em 2016 com a edição da *ISO/TS 15066* define que os humanos e robôs colaborativos podem interagir entre si e partilhar o espaço de trabalho. Destina-se a fornecer padrões de segurança e operação para os esquemas de proteção complexos exigidos para os robôs colaborativos. A norma fornece ainda especificação para procedimentos de avaliação de risco e estabelece limites técnicos e biomecânicos, assim como diretrizes para a documentação técnica da interação entre humanos e robôs.

De acordo com Thiemermann (2005), os sistemas de interação entre humanos e robôs podem ser categorizados em:

- Sistema tradicional - humanos e robôs não partilham tarefas, nem o espaço de trabalho;
- Coexistência - humanos e robôs, trabalham em conjunto para realizar um processo, mas não compartilham o espaço de trabalho, sendo as peças transferidas entre as diferentes áreas de trabalho;
- Cooperação - o espaço de trabalho é compartilhado, mas robô e humano não realizam tarefas neste em simultâneo;
- Colaboração - o espaço de trabalho é compartilhado e ambos executam tarefas em simultâneo.

A tabela 3 mostra os quatro modos de operação citados anteriormente.

Sem Separação		
------------------	---	--



Com Separação		
	Espaço de Trabalho Não Partilhado	Espaço de Trabalho Partilhado

Tabela 3 - Tipos de interação entre robôs e humanos (Thiemermann, 2005).

A interação entre humanos e robôs têm potencial para estabelecer novos fundamentos nas aplicações industriais assim como nos serviços de robótica. Através da combinação dos pontos fortes dos humanos, como cognição, habilidade tática, flexibilidade e adaptabilidade, com os pontos fortes dos robôs, como potência e precisão as desvantagens podem ser minimizadas. Contudo, para uma interação de sucesso, a segurança dos operadores humanos deve ser permanentemente garantida.

A tabela abaixo (Tabela 4) destaca algumas das principais vantagens e desvantagens tanto dos seres humanos como dos robôs (Vagas & al, 2015):

	Vantagens	Desvantagens
Humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Alta disponibilidade; • Manuseamento de componentes complexos; • Flexibilidade nas tarefas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de controlo não fiável; • Restrições ergonómicas; • Sem posicionamento exato; • Reclama do trabalho exigente.
Robôs	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de controlo integrado; • Manuseamento de cargas pesadas e afiadas; • Reprodução exata de caminhos definidos; • Desempenho confiável de atividades repetitivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crítica; • Requer fornecimento específico de material; • Flexibilidade de tarefas limitada; • Manuseamento limitado pelas características dos componentes.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos humanos e robôs (Vagas & al, 2015).

A indústria precisa então de robôs que não só substituam os humanos numa tarefa específica, mas que também trabalhem em colaboração com eles para completarem a tarefa juntos. Estes robôs que estão a ser designados robôs colaborativos, estão habilitados para trabalhar em segurança ao lado dos humanos sem quaisquer barreiras, devido às preocupações de

segurança que tem de ser tidas em consideração durante o desenvolvimento dos mesmos (Pentikainen & al, 2016).

Atualmente, muitos dos processos de produção não podem ser automatizados, isso devido às características das tarefas ou mesmo dos robôs industriais tradicionais. Uma das suas desvantagens é a difícil programação, que exige um profissional autorizado, com alto nível de especialização e vários anos de experiência. Assim, os robôs colaborativos têm como objetivo preencher estas lacunas; tarefas que precisam de duas mãos e uma delicada coordenação, linhas de produção em que os robôs tem de trabalhar sob coordenação dos humanos, situação impossível de ocorrer com os robôs tradicionais, além de serem mais simples de programar.

O exemplo mais completo de toda esta diversidade de interações entre robôs e humanos é a *Gigafactory* da *Tesla* no Nevada, EUA, figura 9. Considerada a fábrica mais automatizada da atualidade, devido à sua excessiva robotização é referida muitas vezes na imprensa como “*machine that makes the machine*”, esta agrega diversos tipos de robôs. Deparamo-nos então com o seguinte cenário:



Figura 9 - *Gigafactory* da *Tesla* no Nevada, EUA (Tesla Gigafactory, 2018).

Na figura 9, representados a vermelho, pode-se observar vários robôs do modelo *M-900iB* da empresa *Fanuc*, com uma capacidade de carga até 360kg. Este é um robô industrial tradicional que ainda têm que operar dentro de um espaço protegido, ao qual os trabalhadores humanos não podem aceder enquanto este estiver em funcionamento. É utilizado numa linha de montagem que incorpora cerca de 200 robôs em operações entre perfurar, soldar e unir o corpo do carro.

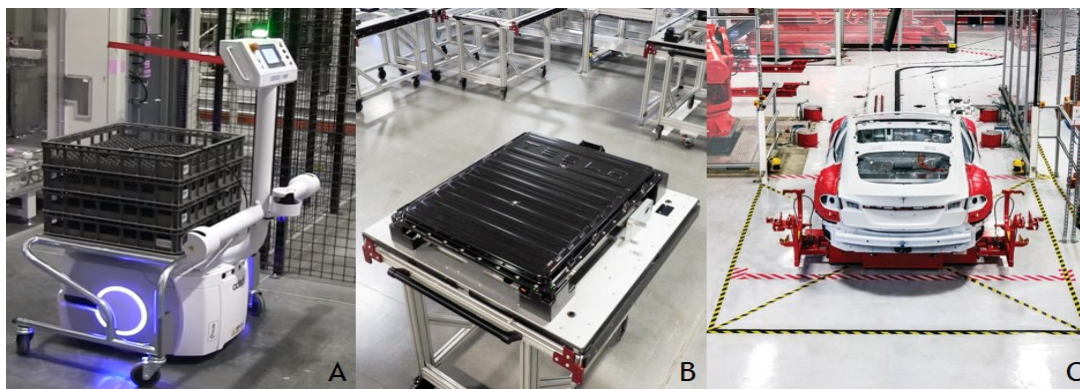


Figura 10 - Alguns dos robôs existentes na *Gigafactory* da *Tesla* no Nevada, EUA (Tesla Gigafactory, 2018).

Não se assuste quando ao entrar na *Gigafactory*, o robô A, da figura 10, veículo autônomo interior, da *Adept*, lhe der as boas vindas dizendo: “welcome to Tesla”. Ele anda livremente pela fábrica, navegando através do uso de um mapa digital. Através dos seus sensores consegue detetar e evitar pessoas e obstáculos com segurança. São usados principalmente para movimentar matérias entre as diferentes áreas de trabalho. Conhecidos como veículos automáticos guiados (B), estes robôs usam ímãs no chão ou pinos de navegação para se deslocarem pela fábrica, movendo módulos de baterias pela *Tesla*. O carrinho robô (C), também é guiado, por umas tiras magnéticas no chão para mover os carros ao longo da linha de montagem, o que o torna crucial para o funcionamento da fábrica.

3.3. Cobots

3.3.1. Enquadramento e Definição

Os Robôs Colaborativos, também conhecidos por *Cobots*, de acordo com o *Institute for Occupational Safety and Health* Alemão, são definidos como: “máquinas complexas que trabalham lado a lado com os seres humanos. Num processo de trabalho partilhado, eles suportam e aliviam o operador humano”. A especificação técnica *ISO/TS 15066:2016* acrescenta ainda que o robô colaborativo por definição partilha o espaço de trabalho, que é o espaço operacional onde o robô, seus periféricos e um humano podem realizar tarefas simultaneamente durante a operação de produção, ou seja, um manipulador industrial, que é capaz de trabalhar em segurança, sem representar perigo para o operador humano. Os robôs desenvolvidos para este propósito utilizam um feedback por toque ou força nas articulações por forma a parar a sua operação quando há risco de colisão, além disso são também frequentemente desenvolvidos com extremidades arredondados para minimizar os danos em caso de colisão.

Uma interação segura entre robôs e humanos deriva da necessidade de células industriais mais eficientes, flexíveis e produtivas, assim como a redução de sobrecarga de trabalho e do

stress ocupacional que recaem sobre o operador humano. Isto pode ser atingido pela simplificação da execução das tarefas dos robôs na indústria da manufatura, sob orientação humana (Corrales & al, 2012).

Através da colaboração entre robô e humano, ou seja, mútua cooperação, é possível complementarem-se um ao outro, por exemplo durante a montagem, paletização ou outras operações tecnológicas. A vantagem desta colaboração é contribuir para encurtar os ciclos de inovação e responder de forma mais flexível à procura de mercado, dado que é difícil prever os requisitos específicos dos consumidores. Em tais casos o uso do robô em colaboração com os humanos é a solução ideal. O robô pode ser usado para controlar e depurar aplicações, o que reduz a possibilidade de erro humano, entrar em locais difíceis de alcançar, atingir precisão e velocidade inigualáveis e aliviar as pessoas do trabalho monótono. Assim os humanos podem focar-se nos processos que exigem raciocínio e executar tarefas que agregam mais valor (Vagas & al, 2015).

A área dos robôs colaborativos tem sido bastante investigada, contudo ainda não foi definido que tipo de robôs podem ser especificamente considerados *Cobots*, mesmo a própria definição de robô colaborativo ainda não é clara. Tantos os robôs comuns, como robôs industriais, foram desenvolvidos para fazer tarefas que os humanos não são capazes de fazer. Nesse sentido, novas estratégias de interações entre humanos e robôs têm sido desenvolvidas ao longo dos anos, ou seja, os robôs colaborativos representam os resultados desses esforços e devem ser considerados como uma ferramenta complementar para os trabalhadores humanos.

Perante isso, os *Cobots* têm despertado o interesse de muitas empresas, desde a indústria automóvel e aeroespacial, até as pequenas e médias empresas. Isso porque são considerados um dos pilares para uma automatização flexível na era da Indústria 4.0. Uma das razões é que esse novo conceito de robô contorna o maior desafio de hoje no que toca a robôs industriais, a sua programação. Os robôs colaborativos podem ser facilmente programáveis, quando comparados aos robôs tradicionais, o que torna a colaboração entre eles e os humanos muito mais simples (Koch & al, 2017).

A tabela 5 apresenta as principais diferenças entre os robôs industriais tradicionais e robôs colaborativos (Djuric & al., 2016):

Robô Industrial Tradicional	Robô Colaborativo
Instalação fixa	Instalação flexível, podem ser realocados após a instalação
Tarefas periódicas e repetitivas	Mudanças frequentes na tarefa
Têm de ser programados online ou offline	Não requerem programação, podem ser instruídos online pelos trabalhadores sem nenhuma programação formal

Não é fácil ensinar, para realizar novas tarefas é necessário reprogramação	É fácil de ensinar, aprendem novas tarefas com instruções simples através da movimentação do <i>cobot</i> no caminho do movimento desejado e registrando o movimento em sequências
Adquiridos e programados para executar uma tarefa específica	Podem ser facilmente realocados para novas aplicações
Espaço de trabalho separado dos humanos por grades	Espaço de trabalho partilhado lado-a-lado com os humanos
Interação limitada com os trabalhadores humanos	Frequente interação com os trabalhadores humanos
Interação insegura com os humanos	Interação segura com os humanos
Grande investimento, apenas compensa em médias e grandes indústrias	Investimento relativamente baixo, sendo lucrativo para pequenas e médias empresas
Tamanho variável, grandes ou pequenos, e rápidos	Tamanho pequeno e lentos, devido ao fato de partilharem o espaço de trabalho com os humanos, tem limitações a nível da velocidade de movimento e da carga máxima permitida
Avaliação de risco não solicitada	Avaliação de risco solicitada, uma vez que põe em causa a segurança dos operadores humanos
6 eixos	6 e 7 eixos

Tabela 5 - Principais diferenças entre robôs industriais tradicionais e robôs colaborativos (Djuric & al, 2016).

A integração de sensores sofisticados e a aplicação da inteligência artificial permitem a visão artificial, consciência do contexto e a inteligência. Isto produz robôs colaborativos que podem não só interagir com os humanos numa área de trabalho específica sem a necessidade de barreiras de segurança, mas também capazes de antecipar as necessidades de assistência requeridas.

Um exemplo é robô colaborativo *Baxter*, da *Rethink Robotics* (figura 11). O robô é constituído pelo corpo do robô, que integra dois braços com um *gripper* (4) cada, com funcionalidade semelhante à de uma pinça. A empresa que o desenvolveu disponibiliza diversos tipos, dependendo da função a executar e dos objetos que vão mover. Tudo isto funciona graças ao software *Intera* que vêm incorporado no ecrã (3 e 5) do robô, juntamente com os comandos nos braços 1 e 2.

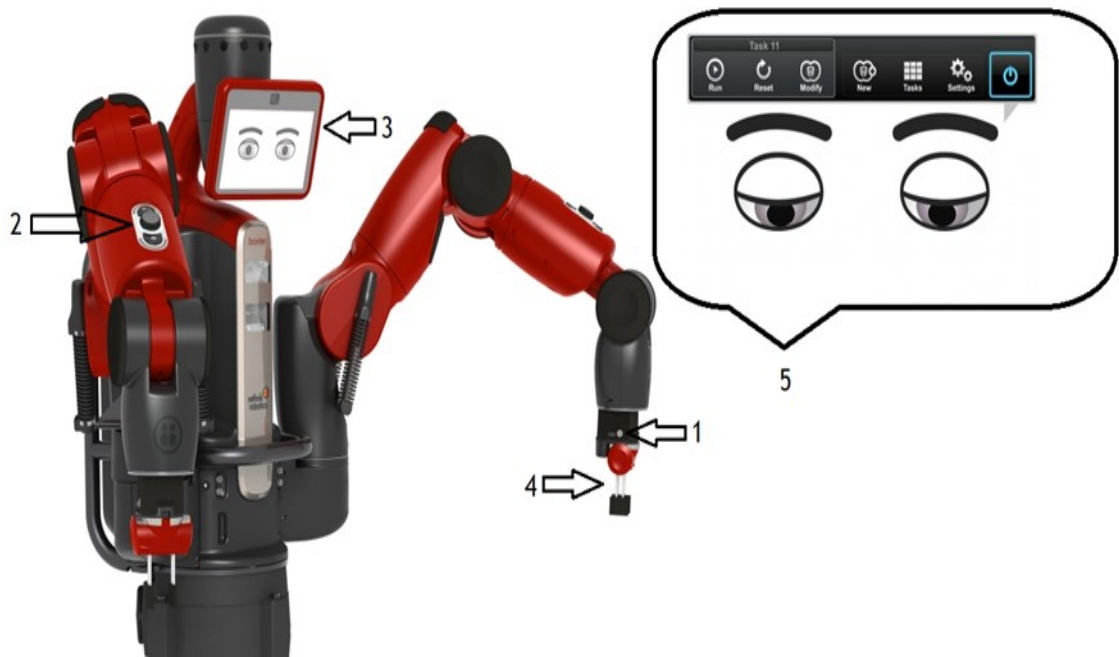


Figura 11 - Robô colaborativo *Baxter*.

Para programar o *Baxter* basta carregar no botão representado pelo número 1 na figura 11. Essa ação coloca o robô em modo gravidade zero, o que lhe permite movimentar o braço sem qualquer esforço. Em seguida, seleciona-se através dos botões no braço (2) a funcionalidade “New”, que aparece no ecrã (quarto comando no número 5 da figura), uma luz azul acenderá em torno dos botões indicando que o robô está pronto para ser programado. A partir de então, move-se o braço do *Baxter* de acordo com os movimentos necessários para executar a tarefa, após todas essas ações estarem concluídas, seleciona-se o comando “Run” no ecrã. Nesse momento, o robô está pronto para executar a tarefa sozinho. O *Baxter* também está apto a realizar diversas tarefas, para isto, basta programá-lo e salvar no seu software. Assim, sempre que for necessário mudar uma determinada tarefa, basta selecionar o modo desejado que ele irá executar. Desta forma, o robô colaborativo *Baxter* pode ser programado por uma pessoa que não entenda nada de programação de computadores ou mesmo de robôs. Além disso, graças as diversas câmaras e sensores que o integram, ele é capaz de parar instantaneamente quando algo se atravessa em seu caminho e quando não está a executar tarefas ele é capaz de fazer o próprio diagnóstico de funcionamento e ainda o download de atualizações automaticamente.

O robô colaborativo *Baxter* (figura 12) foi adquirido em 2013 pela empresa *The Rodon Group*, em Hatfield, nos EUA. Em 2015, este ainda se encontrava em operação, tendo recebido, entretanto, várias atualizações de software. Lowell Allen, vice-presidente sênior da produção referiu que o *Baxter* é considerado como um funcionário, embora não faça pausas para o almoço ou para ir a casa de banho, além de poder trabalhar até três meses sem parar. Segundo Tony Hofmann, gerente das instalações, o *Baxter* é usado para longas e curtas

operações e devido à sua adaptabilidade é possível colocá-lo em operação onde necessitam dele, evitando assim a necessidade de mais uma pessoa por turno. Hofmann destaca ainda a sua fácil programação, como já referido anteriormente. Todas estas vantagens aliadas à financeira, levaram a empresa a adquirir mais quatro modelos de robôs colaborativos, que acabaram por substituir uma grande parte dos operários de montagem de nível básico e permitir assim aos funcionários mais experientes e qualificados executar tarefas mais exigentes (Deligio & al, 2016).



Figura 12 - Robô *Baxter* e um trabalhador humano a trabalharem em conjunto na produção, na empresa, *The Rodon Group*.

3.3.2. Evolução e Potencial Tecnológico

O mercado dos *Cobots* sofreu uma evolução tremenda nos últimos dez anos. Apesar de ainda ser um pequeno setor, tem crescido significativamente. De 2012 para 2013, o mercado de vendas dos robôs colaborativos aumentou 78% e nos anos seguintes esta tendência tem se mantido, como se verifica na figura 13. Em 2012 o valor dos *cobots* comercializados foi de 17,41 milhões de *USD*, no ano de 2015 já perfazia um total de 104,50 milhões de *USD*, e estima-se que em 2020 o mercado dos robôs colaborativos atinja os 3 000 milhões de *USD*, de acordo com os dados da *Barclays equity research*.

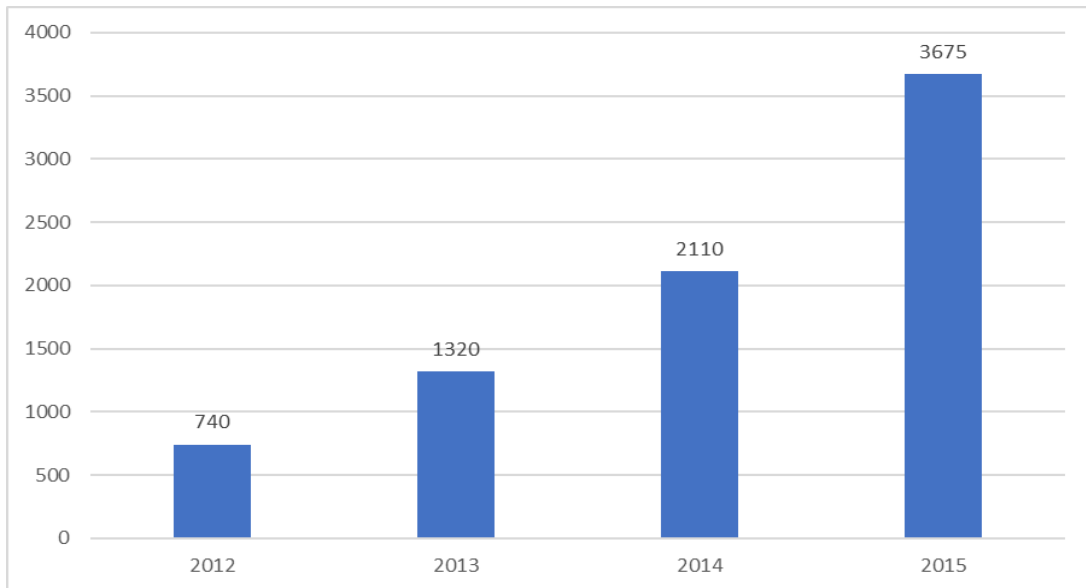


Figura 13 - Unidades de robôs colaborativos vendidos de 2012 a 2015.

O primeiro robô colaborativo do mundo, foi instalado em dezembro de 2008 na empresa *Linatex* (figura 14), pela *Universal Robots*. A empresa dinamarquesa produtora de robôs foi responsável por vender o primeiro robô industrial a trabalhar em segurança ao lado de trabalhadores humanos. Ao adquirir o modelo *UR5*, a *Linatex* fez algo impensável, em vez de instalar o robô dentro das grades de segurança, como era normal até à altura, eles implementaram-no ao lado dos trabalhadores, e sem nenhuma experiência de programação. Sem peritos externos, foram capazes de programar o robô através de um ecrã táctil. A *Linatex* produz diversos componentes plásticos, geralmente pequenos lotes, o que implica a necessidade constante de reprogramação do robô para se adaptar a uma nova tarefa. Assim, devido à sua flexibilidade, os *Cobots* tornam a execução das tarefas muito mais fácil, explica Jorn Trustrup, gerente de produto da *Linatex*.



Figura 14 - Instalação do robô colaborativo *UR5* na *Linatex*.

Este acontecimento veio abrir caminho para uma nova visão dos robôs e das suas possibilidades na produção. Enquanto que tradicionalmente os robôs eram considerados monstros mecânicos instalados em jaulas, de forma aos seus movimentos não provocarem danos aos trabalhadores humanos e uma vez instalados num local, raramente eram movidos para outro local, os robôs colaborativos, graças aos seus sensores, podem trabalhar em segurança ao lado dos operadores humanos. Para além da fácil programação e instalação, podem ainda ser movidos com facilidade ao longo das fábricas.

Nesse contexto, os robôs colaborativos são um segmento em rápido crescimento no universo da automatização. Atualmente, este mercado é dominado pelas empresas *Universal Robots*, com base em Odense na Dinamarca, e pela *Rethink Robotics*, cujo cofundador é Rodney Brooks do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*. Contudo, esses novos modelos de robôs são relativamente recentes e apesar do seu rápido crescimento, ainda é um mercado claramente inferior aos dos robôs industriais tradicionais. Em números exatos, segundo a *International Federation of Robotics* (figura 15), em 2015 venderam-se um total de 253 748 robôs industriais, dos quais 3 675 eram robôs colaborativos. Em 2016 as vendas aumentaram para 297 784 unidades de robôs industriais. Aqui pode-se notar um grande aumento na venda de *cobots*, que perfizeram as 8 950 unidades vendidas, com um crescimento de 143,5% face ao ano de 2015.

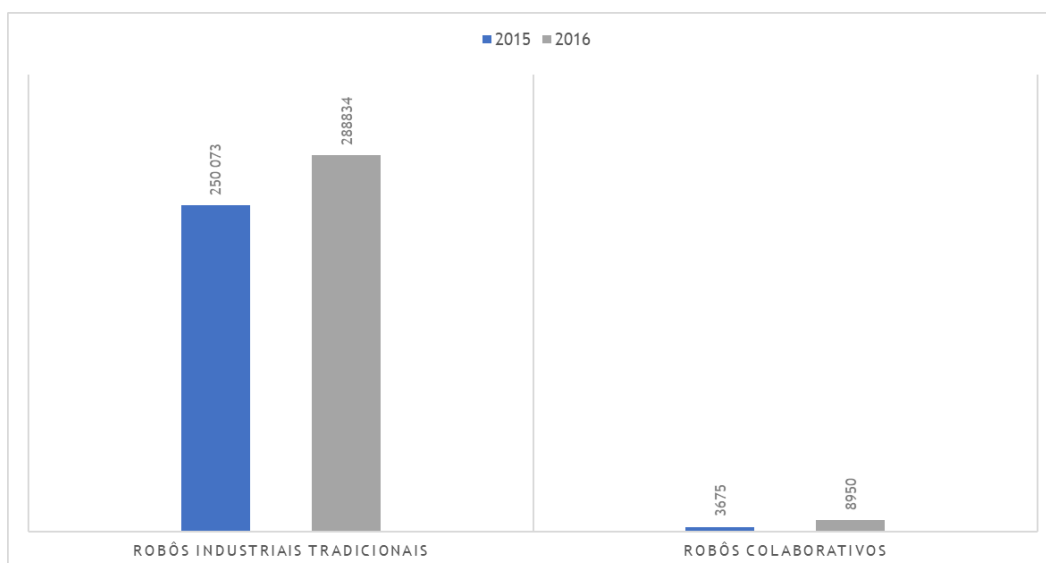


Figura 15 - Número de robôs tradicionais e de robôs colaborativos vendidos em 2016.

Atualmente já existem várias soluções de robôs colaborativos no mercado, com uma variedade de fabricantes e de estruturas de *Cobots*. A eficácia destes em ambientes de produção vai depender da capacidade de integrar a tecnologia de forma a fornecer melhorias nos processos e sistemas. Presentemente muitas indústrias ambicionam introduzir sistemas de

interação entre robôs e humanos nas suas linhas de produção principalmente a nível de colaboração.

A fábrica da *Audi* na Hungria é um exemplo da boa colaboração entre os trabalhadores humanos e os robôs colaborativos. Dois *cobots KUKA* (figura 16) trabalham na linha de produção dos veículos juntamente com os humanos. Apelidados de Adão e Eva, estes robôs são responsáveis por medir pontos de difícil acesso para os trabalhadores humanos (Audi, 2016).



Figura 16 - *Kuka cobots*, Adão e Eva, na fábrica da Audi, Hungria (Audi, 2018).

A seguir (tabela 6), de forma a ilustrar os fatos até agora mencionados, são apresentados de forma aleatória alguns dos robôs colaborativos existentes no mercado, salientando as principais características a ter em consideração no processo de aquisição: graus de liberdade, carga útil, repetibilidade, alcance e preço. O número de graus de liberdade refere-se à versatilidade do robô. Um robô industrial requer no mínimo 6 graus de liberdade para ser completamente versátil; a carga útil expressa o peso máximo que o robô pode movimentar; repetibilidade define a capacidade em se voltar a posicionar no ponto anterior; o alcance revela a distância máxima que ele consegue atingir para executar tarefas e o preço, expresso em Dólares dos Estados Unidos.

FANUC: CR-35iA

	Ano de lançamento	2016
	Graus de liberdade	6
	Carga útil	35kg
	Repetibilidade	0,04mm
	Alcance	1813mm
	Preço	87 000 USD
	Descrição	Dificuldade de programação elevada, semelhante aos robôs industriais tradicionais; é o <i>cobot</i> mais poderoso do mercado, devido à sua capacidade de carga elevada, quando comparado com outros robôs colaborativos; vantagem para quem já têm robôs industriais da marca e quer adquirir um que possa trabalhar lado a lado com os humanos.

MOTOMAN/YASKAWA: HC 10

	Ano de lançamento	2017
	Graus de liberdade	6
	Carga útil	10kg
	Repetibilidade	0,1mm
	Alcance	1200mm
	Preço	48 000 USD
	Descrição	Fácil programação, simplificando as necessidades de treino, aprende pela orientação através da mão; rápida recuperação das falhas.

ABB: YUMI

	Ano de lançamento	2015
	Graus de liberdade	7 por braço
	Carga útil	0,5kg por braço
	Repetibilidade	0,02mm

	Alcance	559mm
	Preço	40 000 USD
	Descrição	Duplo braço; fácil de programar; desenvolvido especialmente para montar pequenos dispositivos eletrônicos.

KAWASAKI: DUARO 1 WD002N


	Ano de lançamento	2015
	Graus de liberdade	7 por braço
	Carga útil	2kg por braço
	Repetibilidade	0,05mm
	Alcance	760mm
	Preço	25 000 USD
	Descrição	Duplo braço; método de programação intuitivo por demonstração.

KUKA: LBR IIWA 7 e LBR IIWA 14

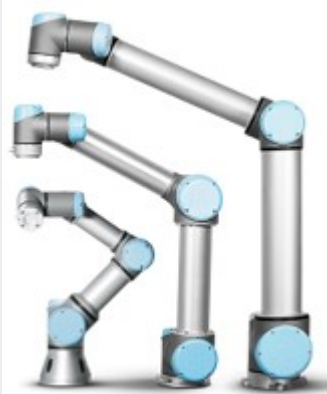
	Ano de lançamento	2013	
	Graus de liberdade	7	
	Carga útil	7kg	14kg
	Repetibilidade	0,1mm	0,15mm
	Alcance	800mm	820mm
	Preço	70 000 USD	
	Descrição	Muito fácil de programar; extremamente tecnológico.	

STÄUBLI: TX2-60

	Ano de lançamento	2017
	Graus de liberdade	6
	Carga útil	4,5kg

	Repetibilidade	0,02mm
	Alcance	670mm
	Preço	40 000 USD
	Descrição	A sua programação não é assim tão intuitiva; têm vantagem em usá-lo quem já estiver habituado aos robôs tradicionais da marca.

UNIVERSAL ROBOTS: UR5, UR3 e UR10

	Ano lançamento	2008	2010	2015
	Graus de liberdade	6		
	Carga útil	5kg	3kg	10kg
	Repetibilidade	0,1mm		
	Alcance	850mm	500mm	1300mm
	Preço	45 500 USD	35 000 USD	56 500 USD
	Descrição	Fáceis de programar; projetado para executar tarefas industriais dimensionadas para o tamanho humano; adequado para diversas aplicações.		

RETHINK ROBOTICS: BAXTER e SAWYER

	Ano lançamento	2012	2015
	Graus de liberdade	7	
	Carga útil	2,2kg por braço	4kg
	Repetibilidade	0,1mm	
	Alcance	1210mm por braço	1260mm
	Preço	25 000 USD	35 000 USD
	Descrição	Fácil programação; boa precisão.	

Tabela 6 - Exemplos de modelos de Cobots existentes no mercado (Cobotsguide, 2018).

Para além das aplicações industriais, os robôs colaborativos podem operar em muitas outras áreas, por exemplo como já referido na secção 3.2, o robô barmen. Para aprender mais sobre como os robôs e humanos podem trabalhar juntos, a *Carnegie Mellon University*, têm partilhado os seus laboratórios e edifícios com quatro robôs colaborativos (figura 17) que foram desenvolvidos por eles. Os robôs possuem rodas omnidireccionais que lhes permite orientarem-se em torno de obstáculos; sistemas de câmaras que permitem visão em profundidade; computadores para processamento; ecrãs para comunicação e cestos para carregar coisas. Estes robôs possuem um conceito de “autonomia simbiótica” que lhes permite pedir ajuda a seres humanos ou à internet, inter ajudarem-se e assim possibilitam aos humanos e aos robôs superarem as suas limitações. Eles são capazes de acompanhar visitantes no edifício, transportar objetos entre locais diferentes e recolherem informação ao longo do percurso. Podem também gerar mapas precisos dos espaços, mostrar dados como temperatura, nível de humidade ou ruído, ou até mesmo a intensidade do sinal de *wifi*. Apesar disso, os ambientes reais ainda são verdadeiros desafios para os robôs, visto que não reconhecem todos os objetos que encontram pelo caminho e por não possuírem braços e mãos, torna-se difícil pegar e manipular coisas, além de não reconhecerem o significado de todas as palavras faladas. Os humanos ajudam os robôs em tarefas como abrir portas, apertar botões, pegar objetos. Manuela Veloso, professora de ciências da computação, têm noção que ainda há muitos obstáculos a serem superados para permitir que robôs e humanos possam coexistir de maneira segura e produtiva (Veloso & al, 2015).



Figura 17 - Cobots desenvolvidos na *Carnegie Mellon University* (Veloso & al, 2015).

Em suma, os robôs colaborativos vêm assim abrir as portas para um mundo cheio de novas possibilidades não só nos ambientes de produção, mas também na nossa vida cotidiana. Embora ainda tenham de passar por mais processos de desenvolvimento, a fim de se tornarem mais seguros, mais flexíveis e humanos, já estamos a assistir à ascensão desta tecnologia. No entanto, ainda são inúmeras as questões que se colocam. Irão eles substituir-nos nos nossos trabalhos? Que implicações terão nas nossas vidas? Quais postos de trabalho desaparecerão e quais serão criados? Estas e outras questões serão abordadas no próximo capítulo.

Capítulo 4 - Impactos Sociais e Económicos

Os desenvolvimentos tecnológicos desempenharam um papel fundamental impulsionando as revoluções industriais anteriores. Assim, não será diferente para esta nova revolução que se anuncia. No entanto, é importante ressaltar que do mesmo modo como já ocorreu anteriormente, os efeitos não se limitarão ao ponto de vista tecnológico e terão também um significativo impacto nas esferas social e económica. Perante isso, todas essas transformações vão requerer além de uma abordagem tecnológica, soluções inovadoras e sustentáveis. Esse novo contexto levanta algumas questões, como a capacidade de adaptação dos indivíduos e das instituições, especialmente no que toca aos perigos para a identidade humana, estabilidade social e segurança económica.

É um fato que todas as revoluções industriais trouxeram benefícios e desafios a nível socioeconómico para os países envolvidos. Segundo *Michio Kaku*, por exemplo, um smartphone em 2007 tinha mais tecnologia do que o foguetão que a *NASA* enviou para a lua em 1969. Na terceira revolução industrial, viu-se também a internet a transformar o mundo em todos os panoramas, e esta transformação continua na era da *Internet of Things (IoT)*.

Atualmente, na chamada 4ª revolução industrial a conexão de tecnologias avançadas como a *IoT*, os *CPS*, a realidade aumentada, entre outras, está a transformar-se num poderoso e gigantesco mecanismo, que permite monitorizar, informar, gerir operações e agir em tempo real, sem o envolvimento ativo dos indivíduos, além de gerar um volume de dados sem precedentes. Este volume de dados combinados com o *big data analytics* e a capacidade de armazenamento da *cloud computing* pode capacitar novas abordagens para a tomada de decisão, novos modelos de negócios, sistemas inteligentes e que operam de forma totalmente autónoma. As aplicações destas tecnologias estão a espalhar-se rapidamente, esperam-se assim enormes repercussões em muitos setores (Kergroach, 2017).

A figura 18 mostra como a adoção destes dispositivos conectados tem vindo a crescer nos últimos anos. Em 2014 o número total de unidades conectadas era de 3,81 milhões, no ano de 2016 já perfaziam 6,38 milhões. Em apenas dois anos o número de dispositivos conectados aumentou 68%. Espera-se que este número aumente drasticamente nos próximos anos, atingindo o valor de 20,41 milhões de dispositivos conectados em 2020 (Mies & al, 2017).

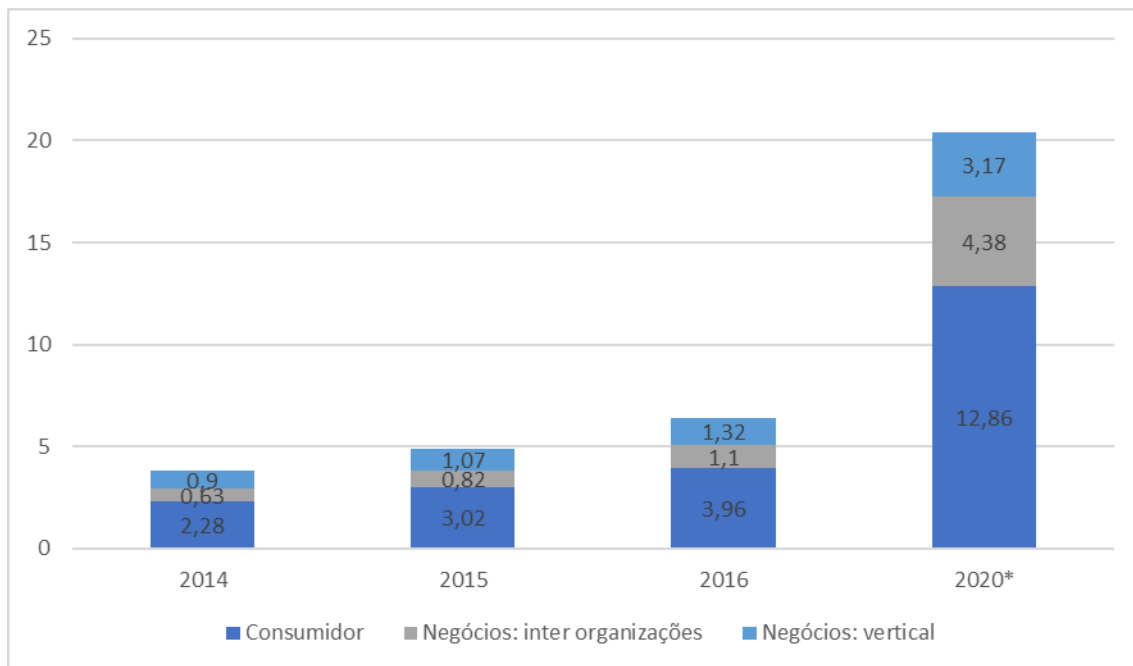


Figura 18 - Unidades, em milhões, de IoT instaladas, entre 2014 e 2016, e uma estimativa para o ano de 2020.

Tecnologias como a IoT, por exemplo já estão a ser amplamente implantadas (figura 18). Pode-se observar que a sua utilização não se restringe a nível industrial, sendo os consumidores em geral os que mais usufruem desta tecnologia. Podemos falar que estamos perante uma rede invisível de inteligência, que está a influenciar fortemente não somente o modo como as organizações operam, mas também a nossa maneira de viver. Diante disto, governantes precisam de se adaptar para reagir a esta rápida evolução nos cenários da indústria 4.0, promovendo políticas que assegurem um desenvolvimento económico e social sustentável. As inovações sociais devem expressar novas e melhoradas respostas para as necessidades sociais. Podem ser classificadas como inovações sociais, por exemplo, soluções sustentáveis para os problemas ambientais, seguros de saúde, novos modelos de aprendizagem e os meios de transporte (Phills & al, 2008).

Como já mencionado na sessão 2.3, todos estes fatores levaram a um rápido progresso das *Smart Cities*, que estão também a preparar o caminho para um mundo mais colaborativo. As cidades sempre desempenharam um papel primordial nos aspetos sociais e económicos a nível mundial, e têm um grande impacto no ambiente (Mori & al, 2012).

Barcelona está no top das *smart cities*, é considerada a líder mundial no uso de aplicações com a implementação da IoT, são exemplos desta utilização (figura 19): iluminação inteligente, a cidade tem luzes LED que são ativadas através da deteção de movimento. Estes sensores das luzes permitem ainda recolher informações meteorológicas para determinar a

necessidade de rega dos parques públicos; paragens de autocarro digitais - que permitem ver os horários em tempo real dos autocarros, equipadas com *wifi* gratuito e ainda com portas de carregamento *USB* e *smart parking* - que permite aos cidadãos saberem quais os espaços de estacionamento que estão vazios.



Figura 19 - Paragens de autocarros digitais e *smart parking*, respetivamente, em Barcelona, Espanha.

A Inteligência Artificial está possibilitando a expansão da capacidade dos robôs industriais para se adaptarem ao mundo físico e às mudanças no ambiente de trabalho sem reprogramação. Os robôs providos de inteligência artificial serão, cada vez mais, fundamentais para a logística e a produção, pois têm potencial para garantir maior segurança, velocidade, precisão e produtividade. A par disto, a aprendizagem de máquina está prestes a revolucionar uma série de serviços, como marketing, finanças, entretenimento e medicina, por exemplo o caso do supercomputador *IBM Watson*, citado na secção 3.1, no diagnóstico de uma leucemia (Kergroach, 2017).

A impressão 3D é um outro exemplo de tecnologia que abre um leque de novas aplicações no contexto da Indústria 4.0. Combinada com as tecnologias digitais e à medida que a gama de materiais que podem ser impressos aumenta, os detalhes das superfícies melhoram e consequentemente o aperfeiçoamento da qualidade do produto final, novas possibilidades de aplicações vão surgindo a todos os níveis. (Kergroach, 2017).

Atualmente já é possível imprimir órgãos para o corpo humano, casas de cimento em apenas 24 horas, e até comida. Em Londres existe um restaurante chamado *Food Ink* (figura 20), em que tudo é impresso em 3D, desde a mobília, utensílios e até mesmo a comida.



Figura 20 - Casa construída através de impressão 3D e fachada do restaurante, que serve comida impressa em 3D, *Food Ink*, em Londres.

O objetivo da indústria 4.0 é conseguir integrar todas estas novas tecnologias de forma que possam intercomunicarem-se dentro de uma fábrica. Como referido na sessão 2.2, o desenvolvimento das *smart factories* passa em grande parte por altos níveis de automatização, que são muitas vezes associados à substituição dos humanos pelas máquinas nos postos de trabalho. A indústria 4.0, ao contrário, visa o apoio aos trabalhadores humanos em usarem novas tecnologias (Mies & al, 2017).

A grande questão que se coloca é: será que já estamos preparados para isso? Usando como exemplo a fábrica da *Tesla*, pode-se dizer que não. Ainda há muitos avanços a fazer a nível tecnológico. O caso dos atrasos na produção da *Tesla* mostra isso, já este ano, a automação excessiva desacelerou a produção do modelo 3 da marca, o que levou a enormes prejuízos. Considerada como uma das fábricas mais avançadas do mundo, mostrou-se assim um fracasso. Elon Musk, presidente executivo da *Tesla*, viu-se obrigado a substituir algumas máquinas por trabalhadores humanos, dizendo ainda que: “os humanos são subvalorizados”. Este exemplo demonstra que o papel dos trabalhadores humanos nas fábricas não deve ser descartado. Para uma visão mais competitiva, as organizações devem reconhecer a importância estratégica dos trabalhadores.

De acordo Keynes (1933) o aumento do desemprego tecnológico deve-se à descoberta de novos meios de economizar no uso de mão de obra, superar o ritmo a que descobrimos novos trabalhos ou profissões. Este desemprego é de curto a médio prazo e é originado por causa deste desajuste temporário. Joseph McCartin, professor de história na *Georgetown University*, explica que o corrente medo do desemprego tecnológico tem assombrado a sociedade desde o início da primeira revolução industrial. Também anteriormente assistimos ao receio de perder os postos de trabalho para as máquinas, e a maioria dos empregos realmente desapareceram, enquanto novos foram criados. Simplesmente a escala das mudanças, devido à automação, atualmente serão mais amplas, o que levará a um impacto muito maior na economia.

Kelly Ross, diretor adjunto do *AFL-CIO*, constata que temos lidado com a automação por mais de 200 anos, trata-se de uma questão contínua e a tecnologia têm-se mostrado ser uma coisa boa, à medida que torna os funcionários mais produtivos. Don Howard, professor de filosofia na *University of Notre Dame*, salienta que “a preocupação, simplesmente, é que as máquinas estão a começar a substituir o trabalho humano a uma taxa que as ocupações que surgem não conseguem acompanhar o ritmo”.

Uma pesquisa realizada por Acemoglu & al (2015), mostra que embora a automação tenda a reduzir o emprego e conseqüentemente o rendimento nacional, a criação de tarefas mais complexas tem o efeito oposto, contribuindo assim para o aumento do rendimento nacional e crescimento económico. Ou seja, a automação, especialmente a robotização tem um impacto positivo no emprego. Contudo, este cenário varia nos diferentes setores, tipos de trabalhos e níveis de qualificações. A preocupação é de que certos empregos sejam eliminados como resultado da automação (Frey & al, 2013).

O economista Autor (2015) explica que a automação de facto substitui o trabalho humano, no entanto, também complementa a mão de obra. Nesse aspeto, muitos especialistas tendem a exagerar quanto à substituição do trabalho humano pelas máquinas, ignorando a forte complementaridade entre automação e trabalho que levam ao aumento da produtividade, dos lucros e a uma maior procura por mão de obra mais qualificada. Esta revolução não consiste em automatizar o maior número de processos, como foi no caso dos anos 90. Conceitos atuais indicam que o objetivo é a máxima customização (Lotter, 2002).

Manuel Sobrinho Simões, médico e investigador na Universidade do Porto, acredita que os robôs “apenas vão substituir muito do nosso trabalho braçal. O trabalho que vamos ter daqui a umas décadas é sobretudo trabalho social, para que os idosos tenham condições e não se sintam totalmente marginalizados”. Manuela Veloso, professora de ciências da computação na *Carnegie Mellon University*, também desdramatiza a situação, defendendo que os robôs autónomos e os humanos diferem muito nas suas habilidades, e estes irão completar-nos, mas não substituir-nos. Ela explica ainda que os robôs poderão sempre ter limitações preceptivas, cognitivas e de atuação, poderão não vir a ser capazes de entender algumas coisas completamente, como reconhecer ou manipular qualquer objeto ou entender completamente a linguagem falada e escrita.

Nessa mesma corrente, diversos estudos mostram uma correlação positiva entre a automação e os empregos:

- Entre 1999 e 2010 na União Europeia a procura de mão de obra global aumentou em 11,6 milhões de empregos devido à informatização (Zierahn & al, 2016);

- Um estudo realizado por investigadores do *MIT* na *BMW* mostrou que equipas de trabalho constituídas por humanos e robôs são 85% mais produtivas quando comparadas com eles a trabalharem separadamente;
- Uma análise da *PwC*, nos EUA, mostrou que os setores industriais mais intensivos em robótica empregam cerca de 20% mais engenheiros mecânicos e industriais e quase o dobro do número de trabalhadores de manutenção e reparação. Além disso, auferem ainda salários maiores do que os setores industriais menos intensivos em robótica;
- Estima-se que a aplicação industrial da robótica irá contribuir cerca de 78 biliões de euros para o PIB alemão até ao ano de 2025, tendo assim um impacto económico substancial no crescimento económico (Hermann & al, 2015);
- Embora os empregos no sector industrial tenham diminuído ao longo de vários anos, analistas do *Brookings Institution* relatam que países que investiram em robôs perderam menos empregos no setor industrial do que os que não investiram (Muro & al, 2015);
- Países com maior densidade de robôs, como a Coreia e a Alemanha, estão entre os países com menor taxa de desemprego. Um estudo realizado particularmente na Alemanha, pelo *Institute for Employment Research*, mostrou que a adoção de robôs nem sequer levou a perdas de emprego para os trabalhadores menos qualificados, que são os que estão em maior risco de serem automatizados;
- Um estudo sobre o impacto das tecnologias nos países asiáticos, levado a cabo pelo *Asian Development Bank*, concluiu que os ganhos de produtividade levaram a um aumento de 33 milhões de empregos por ano entre 2005 e 2015;
- Uma revisão sobre o impacto económico dos robôs industriais em 17 países concluiu que os robôs aumentavam os salários sem ter efeito significativo no total de horas trabalhadas (Graetz & al, 2015).

Contudo, a produtividade global tem vindo a abrandar desde a mudança do século. Com a primeira e segunda revolução industrial presenciamos um notável crescimento económico e um impulso na produtividade, muito devido à elevada mecanização do trabalho. Com a terceira revolução, marcada pelos computadores e internet, não se observou o mesmo resultado. Sendo uma revolução digital, não havendo por isso impacto direto na produção ou mecanização do trabalho (Gordon, 2012).

Apesar disso, é inegável que é mais fácil ganhar dinheiro hoje com menos trabalhadores do que há 28 anos atrás. Tendo como exemplo *Detroit*, nos EUA, em 1990 as três maiores empresas tinham uma capitalização de mercado de 36 biliões de USD, e empregavam 1,2 milhões de funcionários. No ano de 2014, as três maiores empresas em *Silicon Valley*, na Califórnia, EUA, tem uma capitalização de mercado substancialmente superior de 1,09 triliões de USD e com dez vezes menos empregados, apenas 137 000 (Westkämper, 2016). Tendo em conta que em *Silicon Valley* estão sediadas as maiores empresas tecnológicas do mundo, como

é o caso do *facebook*, *google* e *apple* e que estas ainda não existiam há meio século atrás, pode-se notar as potencialidades que advém com as revoluções industriais.

Nesta era digital, a maneira como fazemos negócios e como usamos as capacidades das novas tecnologias irão sofrer alterações ocasionando fortes impactos não só no quotidiano empresarial, como também na economia mundial. Os negócios e a economia irão enfrentar grandes desafios para se manterem competitivos nos mercados globais, mas também oportunidades e ganhos com os progressos advindos da inteligência artificial e da robótica.

Assim, como se extinguiram determinados tipos de trabalho nas revoluções anteriores, também nesta vamos assistir a isso, mas em contrapartida presenciaremos o surgimento de novos empregos. Com os avanços tecnológicos propostos pela indústria 4.0 novas profissões surgirão, como exemplo: programadores de robôs, especialistas em *cloud computing* e analistas de *big data*. Profissões como criadores de aplicações, *Youtubers*, *bloguers* ou gestores de redes sociais também seriam impensáveis há algumas décadas atrás.

Um exemplo é a *Hirebotics*, uma *startup* lançada em 2016, por Matt Bush e Rob Goldiez, em Nashville nos EUA que aluga *Cobots*, sendo considerada o primeiro serviço de aluguer de robôs do mundo. Quando um cliente recorre aos seus serviços, eles compram um robô colaborativo à *Universal Robots* e vão até às infraestruturas dos clientes instalá-los e programá-los de acordo com a função a desempenhar. As empresas pagam sobre o *Cobot* como se fosse um trabalhador humano, ou seja, o valor depende da complexidade da tarefa a ser executada e das horas em que ele está em funcionamento, podendo chegar a 80 horas por semana e com valores em torno de 15 dólares por hora. Possuem ainda uma aplicação para smartphone que faz uso das capacidades da *IoT* e da *cloud*, permitindo aos seus clientes estarem a par de todas as operações do *cobot*, aceder aos dados de produção em tempo real e receber notificações de ocorrências importantes.

Leopold Summerer, físico teórico da agência espacial europeia, explica que: “mal os robôs se tornem mais capazes irão ajudar-nos, irão viver connosco de muitas maneiras diferentes. E não há razão para não continuarmos a contar cada vez mais com os robôs tal como contamos com máquinas de lavar e computadores e contamos com aquilo que nos ajuda a alcançar os nossos objetivos, metas e desejos”.

Para Paul Saffo, futurista, “a questão de as máquinas roubarem empregos não é um medo novo. As máquinas sempre substituíram empregos, mas o equilíbrio encontrado permitiu criar mais trabalhos do que os substituídos. A tecnologia cria possibilidades para se reestruturar de forma a beneficiar todos”. Gerd Leonhard (2017), outro futurista, defende ainda que “devido às possibilidades das novas tecnologias, talvez em 5 anos possamos trabalhar menos, em 10 ou 20 anos talvez só trabalhemos 3 ou 4 horas por dia e continuaremos a receber o mesmo”.

Muitas destas citações são ainda apenas especulações, mas uma coisa podemos afirmar, com a quarta revolução industrial, assistiremos a uma mudança exponencial nos próximos anos. Apesar das revoluções anteriores terem causado crescimento económico, aumentos de produtividade e melhorias no bem-estar social dos países, a distribuição de riqueza dentro dos países desenvolvidos que lideraram as revoluções industriais não foi igualitária, muito menos a nível mundial, onde a desigualdade se tornou um dos maiores desafios a par com as alterações climáticas e problemas de sustentabilidade. Estes continuam a ser um dos grandes desafios desta quarta revolução, a par com outros dos maiores riscos sociais que iremos enfrentar, o crime cibernético, a segurança e a privacidade dos nossos dados.

O rápido crescimento das tecnologias da informação e comunicação que nos possibilitou rastrear e partilhar não só a nossa informação, mas também a de terceiros, mostra que perdemos o controlo sobre os nossos dados e assistimos a uma exposição de informações sobre as nossas vidas privadas. Recentemente foi divulgado o caso de apropriação de dados pessoais por parte de diversas empresas através do *Facebook*. Onde este, através da recolha e análise de dados das pesquisas realizadas pelos usuários consegue traçar um perfil de cada indivíduo de acordo com as suas preferências e interesses. O sistema de inteligência artificial usado pelo *Facebook* permite ainda escrutinar as nossas mensagens no *Messenger* e no caso de possuírem conteúdo considerado impróprio, o usuário é banido da rede social.

Outro exemplo é o caso do *google voice*, que grava todas as conversas realizadas nas proximidades do telemóvel para serem utilizadas para controlar a publicidade que aparece quando acedemos à internet. Por isso quando uma pessoa está a falar de um determinado produto, por exemplo computadores, ao começar a navegar na internet lhe aparecerem diversas sugestões de computadores. Essas situações não ocorrem por coincidência e sim como resultado da utilização da inteligência artificial aliada à falta de privacidade que já se começa a enfrentar. Já existem leis explícitas para a proteção de dados pessoais, no entanto a par da rápida evolução das novas tecnologias, essas medidas terão de ser também adaptadas às novas realidades, para proteger assim a privacidade e segurança dos cidadãos e das empresas (Murphy, 2018).

O futuro depende da aplicação prática da inteligência alcançada pela inteligência artificial. Stephen Hawking referiu que “o desenvolvimento completo da inteligência artificial pode significar o fim da raça humana”. Mencionou ainda que a IA irá superar a inteligência humana, porque a evolução humana é lenta quando comparada com o rácio exponencial das inovações tecnológicas. Nem todos os cientistas são tão pessimistas como Hawking, mas admitem que a inteligência artificial é a nossa maior ameaça existencial (Cellan-Jones, 2014).

Capítulo 5 - Conclusão

Encontramo-nos atualmente na quarta revolução industrial, revolução esta marcada na sua maioria, tal como a terceira, pelas transformações digitais e tecnológicas. O que suportou o surgimento de tecnologias como *IoT*, *CPS*, *cloud computing* e *big data*, e aprimoramento de outras, nomeadamente a inteligência artificial e a robótica. Estas tecnologias irão permitir uma nova realidade em que todos os dispositivos estão interligados e podem comunicar entre si, tornando o nosso mundo numa rede invisível de inteligência, com infinitas possibilidades e aplicações.

Isto irá levar a enormes alterações na indústria, entrámos na era da customização, em que as *smart factories* proporcionarão aos clientes a possibilidade destes fazerem parte de todo o processo de produção, dos produtos adquiridos, e criarem assim objetos totalmente adaptados às suas necessidades. Em consequência disto sofreremos também inevitáveis transformações no nosso dia a dia, assistiremos ao surgimento das *smart cities*, às inúmeras possibilidades que as tecnologias nos irão trazer. Entramos numa época em que tudo é *smart*. Mas tudo isto traz inúmeros problemas associados, nomeadamente no que toca à segurança cibernética e à privacidade dos dados.

Como assistimos nas revoluções anteriores é inevitável a perda postos de trabalho, nesta revolução, devido essencialmente aos robôs e às novas possibilidades que os robôs colaborativos trazem para a indústria. Iremos, portanto, assistir ao desaparecimento de determinados tipos de trabalhos, que irão passar a ser desempenhados por robôs, mas em contrapartida as novas tecnologias irão permitir o surgimento de novos. Poderemos assim assistir a um desemprego tecnológico, isto se a capacidade de surgimento de novos empregos não conseguir acompanhar os que irão desaparecer.

Em suma, os robôs farão então cada vez mais parte das nossas vidas, não só na indústria, como no nosso dia a dia, estes conviverão connosco e irão ajudar-nos. Os cobots vem abrir caminho para esta nova realidade, mostrando que eles estão a ficar mais seguros e capazes de trabalhar lado a lado com os humanos. Muito devido aos avanços da inteligência artificial, estes estão a ficar cada vez mais inteligentes e poderão vir a tornar-se numa ameaça para a raça humana no dia em que atingirem um nível de consciência equiparada à nossa. Felizmente ainda nos encontramos distantes desta realidade, os robôs e a IA ainda precisarão de passar por enormes desenvolvimentos.

Referências bibliográficas

- "duAro" *Dual-arm SCARA Robot Now Launched*. (25 de 04 de 2018). Obtido de Kawasaki:
https://robotics.kawasaki.com/en1/news-events/news/detail/index.html?f=20150806_4563&language_id=4
- Acemoglu, D., & al, e. (2015). *The Race Between Man and Machine: Implications of Technology for Growth*.
- Adolphs, P., & Epple, U. (2015). *Reference Architecture Model industrie 4.0 (RAMI4.0)*.
- Almada-Lobo, F. (2015). The industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems. *Journal of Innovation Management*.
- Alpaydin, E. (2010). *Introduction to machine learning*. London, England: The MIT press.
- Armbrust, M., & al, e. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 50-58.
- Audi. (14 de 05 de 2018). *Audi*. Obtido de Adam and Eve in the Vehicle Production of Audi Hungaria:
https://audi.hu/en/news/news/details/470_adam_and_eve_in_the_vehicle_production_of_audi_hungaria/
- Autor, D. (2015). *Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation*.
- Baheti, R., & al, e. (2011). *Cyber-physical systems*. IEEE Control Systems Society.
- Bahrin, M., & al, e. (2016). *Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic*.
- Bakici, T., & al, e. (2012). A smart city initiative: the case of barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 135-148.
- Baldassari, P., & al, e. (2017). Industry 4.0: preparing for the future of work.
- Bauer, K., & al, e. (2016). *Plattform Industrie 4.0 & Alliance Industrie du Futur*.
- Berre, A. J., & al, e. (2007). The ATHENA interoperability framework. *Enterprise Interoperability II*, 569-580.
- Buyya, R., & al, e. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*, 599-616.
- Cellan-Jones, R. (2014). Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind. *BBC News*.
- Chen, D., & al, e. (2008). Architectures for enterprise integration and interoperability. *Computers in Industry*, 647-659.
- Cobotsguide*. (28 de 03 de 2018). Obtido de <https://cobotsguide.com/>
- Collaborative Robots Buyer's Guide*. (23 de 03 de 2018). Obtido de Robotiq:
<https://robotiq.com/>
- Corrales, J., & al, e. (2012). Cooperative tasks between humans and robots in industrial environments. *SAGE journals*.

- CR-35iA. (25 de 04 de 2018). Obtido de Fanuc:
<https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/rob%C3%B4s-colaborativos/collaborative-cr35ia>
- Cretu, L. (2012). Smart cities design using event-driven paradigm and semantic web. *Informatica Economică*, 57-68.
- Crevier, D. (1993). *AI: the tumultuous history of the search for artificial intelligence*. Basic Books.
- Davies, S. (2010). Internet of energy. *Engineering & Technology*, 42-45.
- De Chaves, S., & al, e. (2011). Customer security concerns in cloud computing. *The Tenth International Conference on Networks*.
- Deligio, T., & al, e. (2016). From Robots to Cobots.
- Dirican, C. (2015). The Impacts of Robotics, Artificial Intelligence on Business and Economics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 564-573.
- Djuric, A. M., & al, e. (2016). *A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems*.
- Donnelly, P., & al, e. (2017). *Machine learning: the power and promise of computers that learn by example*. London: The Royal Society.
- Durovsky, F. (2014). Recent trends in industrial robotics. *Transfer inovácií*.
- Frey, C. B., & al, e. (2013). *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation*.
- Gehrke, L., & al, e. (2015). *A discussion of qualifications and skills in the factory of the future*.
- Giuliani, M., & al, e. (2010). Design Principles for Safety in Human-Robot Interaction. *International Journal of Social Robotics*, 253-274.
- Gordon, R. J. (2012). *Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds*.
- Graetz, G., & al, e. (2015). *Robots at Work*.
- Hashim, J. (2007). Information communication technology (ICT) adoption among SME owners in Malaysia. *ICT Adoption Among SME Owners in Malaysia*, 221-241.
- HC10. (25 de 04 de 2018). Obtido de Yaskawa: <https://www.motoman.com/industrial-robots/hc10>
- Hermann, & al, e. (2015). *Design principles for industrie 4 scenarios: a literature review*.
- IDAbc. (2004). *The New European Interoperability Framework*. European Commission.
- IFA. (21 de 03 de 2018). Obtido de <http://www.dguv.de/ifa/index-2.jsp>
- IFR. (17 de 03 de 2018). *International Federation of Robotics*. Obtido de <https://ifr.org/>
- iiwa, L. (25 de 04 de 2018). Obtido de KUKA: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>
- Kaku, M. (2015). *The future of the mind*. Anchor books.
- Kanter, M., & al, e. (2009). *A Manifesto for Smart Cities*.

- Kergroach, S. (2017). Industry 4.0: new challenges and opportunities for the labour market. *National Research University Higher School of Economics*, 6-8.
- Ketteni, E., & al, e. (2015). Information and communication technology and foreign direct investment. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 1632-1636.
- Keynes, J. M. (1933). Economic possibilities for our grandchildren. *Essays in Persuasion*, 358-373.
- Khan, M., & al, e. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of industry 4.0. *IEEE International Conference on Communications*, 1938-1883.
- Koch, P. J., & al, e. (2017). *A Skill-based Robot Co-worker for Industrial Maintenance Tasks*.
- Kyodo. (17 de 05 de 2018). *Robot barista to serve coffee at travel agency's Tokyo cafe*.
Obtido de The japan times:
<https://www.japantimes.co.jp/news/2018/01/30/business/robot-barista-serve-coffee-travel-agencys-tokyo-cafe/#.WxQ4YZ9KjIW>
- Lambert, F. (17 de 05 de 2018). *Tesla Gigafactory: a look at the robots and 'machine building the machine' at the battery factory*. Obtido de electrek:
<https://electrek.co/2016/07/31/tesla-gigafactory-robots-machines-battery-factory/>
- Lavrin, A. and M. Zelko, "Moving toward the digital factory in raw material resources area," *Acta Montan. Slovaca*, vol. 15, no. 3, pp. 225- 231, 2010
- Lay, G., & al, e. (2001). *Sackgasse Hochautomatisierung*. Institut Systemtechnik und Innovationsforschung.
- Lee, J. (2014). *A cyber-physical systems architecture for industr 4.0-based manufacturing systems*.
- Lee, J., & al, e. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 38-41.
- Lee, J., & al, e. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 3-8.
- Lee, S., & al, e. (2011). A Human Assistant Robot System for Handling Heavy Mechanical Parts in Assembly Lines. *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation* (pp. 464-468). Procedia Engineering .
- Li, B., & al, e. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 86-96.
- Liebi, M. (2016). Industry 4.0 and the Impact of cybersecurity. *Procedia Manufacturing*, 1253-1260.
- Lom, M., & al, e. (2016). Industry 4.0 as a part of smart cities. *2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*. IEEE.
- Lotter, B. (2002). *Der Wirtschaftlichkeit angepasster Automatisierungsgrad*.
- Mahdavinejad, M. S., & al, e. (2017). Machine learning for internet of things data analysis: a survey. *Digital Communications and Networks*, 161-175.
- Manyika, J., & al., e. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. *McKinsey & Company*.

- Marr, B. (2016). What everyone must know about industry 4.0. *Forbes*.
- McDonald, C. (17 de 05 de 2018). *Inside The Tesla Factory*. Obtido de Popular Science: <https://www.popsci.com/inside-tesla-factory-and-elon-musks-master-plan-for-companys-future>
- Mell, P., & al, e. (2011). *The NIST definition of cloud computing*. NIST.
- Mialhe, N., & al, e. (2017). The third age of artificial intelligence. *Artificial Intelligence and Robotics in the City*, 6-11.
- Michael , R. et al., 2015. Michael, R. Markus, L. and et al. 2015. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. [Online] Available at: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/#chapter1. [Acesso em 10 03 2017].
- Michio Kaku. (20 de 04 de 2018). Obtido de <http://mkaku.org/>
- Mies, G., & al, e. (2017). *Industrial robots meet industry 4.0*. IPARI ROBOTOK AZ IPAR 4.0 ÍGÉNYEIHEZ .
- Monnier, O. (2013). *A smarter grid with the internet of things*. Texas Instruments.
- Mori, K., & al, e. (2012). Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, 94-106.
- Mosconi, F. (2015). *The new European industrial policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance*. London, England: Routledge
- Muller, & al, e. (2013). *Wandlungsfähiges Montagesystem für Großbauteile am Beispiel der Flugzeugstrukturmontage*. Zukunftsfähige Montagesysteme.
- Muro, M., & al, e. (2015). *Robots Seem to Be Improving Productivity*.
- Murphy, M. (29 de 05 de 2018). *The Sun*. Obtido de <https://www.thesun.co.uk/tech/4295350/did-you-know-google-has-been-secretly-recording-you-heres-how-to-find-the-creepy-audio-files-that-are-monitoring-your-conversations-every-day/>
- Nasser, J. (2014). *Cyber physical systems in the context of Industry 4.0*.
- Oztemel, E. (2010). Intelligent manufacturing systems. *Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management* , 1-41.
- Paiva Santos, B.; F. Charrua-Santos; T.M. Lima. (2018). Industry 4.0: An Overview
- Pang, & al, e. (2015). Design of a terminal solution for integration of in-home health care devices and services towards the internet of things. *Enterprise Information Systems* , 86-116.
- Pentikainen, T., & al, e. (2016). *How to make collaborative robot programming easier*.
Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten .
- Pereira, T., & al, e. (2017). *Network and Information security challenges within Industry 4.0 paradigm* .
- Peshkin, M., & al, e. (1999). *CoBots*. IEEE Robotics & Automation Magazine.

- Peterson, A., & al, e. (2014). Social product development: introduction, overview and current status. *Semantic Association Systems for Product Data Integration in the Socio-Sphere* , 1-33.
- Phills, J. A., & al, e. (2008). Rediscovering Social Innovation. *Stanford Social Innovation Review*.
- Publico. (14 de 05 de 2018). Obtido de Robô mata trabalhador em fábrica da Volkswagen: <https://www.publico.pt/2015/07/02/tecnologia/noticia/robo-mata-trabalhador-em-fabrica-da-volkswagen-1700818>
- Radziwon, A., & al, e. (2014). *The smart factory: exploring adaptative and flexible manufacturing solutions*.
- Rich, S. (2012). *Big data: the new natural resource*. IBM Big Data & Analytics Hub.
- Richert, A. (2016). *Educating Engineers for industry 4.0*.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). *A complex view of Industry 4.0*. SAGE Publishing.
- ROBÔS COLABORATIVOS DA UNIVERSAL ROBOTS. (25 de 04 de 2018). Obtido de Universal Robots : <https://www.universal-robots.com/pt/produtos/>
- Rohaidi, N. (2016). IBM's Watson detected rare leukemia in just 10 minutes. *AsianScientist*.
- Rüttimann B. and Stöckli M., "Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems," *J. Serv. Sci. Manag.*, vol. 9, no. 6, pp. 485-500, 2016.
- Sarma, D. L. Brock, and K. Ashton, "The Networked Physical World," Auto-ID Cent. White Pap. MIT-AUTOID-WH-001, pp. 1-16, 2000.
- Sekoranja, B., & al, e. (2013). Human-Robot Interaction Based on use of Capacitive Sensors. *Procedia Engineering*, 464-468.
- Shafiq, S., & al., e. (2015). Virtual engineering object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 35-50.
- Shalev-Shwartz, S., & al, e. (2014). *Understanding machine learning: from theory to algorithms*. Cambridge University Press.
- Simons, S., & al, e. (2017). The fully automated industrie 4.0 learning factory of the university of applied sciences darmstadt. *Procedia Manufacturing*, 81-88.
- SMARTER COLLABORATIVE ROBOTS FOR INDUSTRIAL AUTOMATION. (25 de 04 de 2018). Obtido de Rethink Robotics : <https://www.rethinkrobotics.com/>
- Soliman, F., & al, e. (2003). Internet-based e-commerce and its impact on manufacturing and business operations. *Industrial Management & Data Systems*, 546-552.
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution—Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 1512-1532. doi:10.3926/jiem.1470
- Statista. (21 de 03 de 2018). Obtido de <https://www.statista.com/>
- Stone, Z. (01 de 03 de 2018). *Everything you need to know about Sophia, the world's first robot citizen*. Obtido de Forbes:

- <https://www.forbes.com/sites/zarastone/2017/11/07/everything-you-need-to-know-about-sophia-the-worlds-first-robot-citizen/#147613ed46fa>
- Tan, Y., & al, e. (2008). *A prototype architecture for cyber-physical systems*. ACM SIGBED Review.
- Thiemermann, S. (2005). *Mensch-Roboter-Kooperation*. Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF.
- Thiemermann, S., & al, e. (2002). *Trennung Aufgehoben*.
- Thuzar, M. (2011). Urbanization in south east asia: developing smart cities for the future. *ISEAS-Yusof Ishak Institute*, 96-100.
- Tirgul, C. S., & al, e. (2016). Artificial intelligence and robotics. *Artificial Intelligence*, 79-121.
- TX2-60 6-axis industrial robots*. (25 de 04 de 2018). Obtido de Stäubli:
<https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/6-axis-scara-picker-industrial-robots/tx2-collaborative-robots/tx2-60/>
- Tzafestas, S. G. (2016). *An introduction to robo-philosophy*.
- Uckelmann, D. (2008). Definition approach to smart logistics. *International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking*, 273-284.
- Vagas, M., & al, e. (2015). *The concept of human-robot cooperation*.
- Varghese, A., & al, e. (2014). Wireless requirements and challenges in industry 4.0. *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*.
- Veloso, M., & al, e. (2015). *CoBots: Robust Symbiotic Autonomous Mobile Service Robots*. Carnegie Mellon University: School of Computer Science.
- Vogel-Heuser, B., & al, e. (2016). Industry 4.0 - prerequisites and visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 411-413.
- Waldner, M., & al, e. (2015). *The future of productivity and growth in manufacturing industries*. The Boston Consulting Group.
- Wang, S., & al, e. (2015). *Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook*. International Journal of Distributed Sensor Networks.
- Wang, Y., & al, e. (2010). Understanding the determinants of RFID adoption in the manufacturing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 803-815.
- Waurzyniak, P. (2015). *Fast, lightweight robots help factories go faster*.
- Waurzyniak, P. (2016). *Putting safety first in robotic automation*.
- Westkämper, E. (2016). Method for Configuring Product and Order Flexible Assembly Lines in the Automotive Industry. *Procedia CIRP*, 215-220.
- Womack, J. and D. T. Jones, (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*.
- WorldBank. (2015). *World Development Indicators*.
- Xia, F., & al, e. (2012). Internet of Things. *Communication Systems* , 1101-1102.

- Xu, J.; E. Huang, L. Hsieh, L.H. Lee, Q.-S. Jia and C.-H. Chen, "Simulation optimization in the era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet," *J Simulation*, vol.10, no.4, pp. 310-320, 2016
- Yang, G.-Z., & al, e. (2017). Artificial intelligence and robotics. *Artificial Intelligence*, 79-121.
- YuMi - IRB 14000. (25 de 04 de 2018). Obtido de ABB:
<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>
- Zhong, R., & al, e. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 616-630.
- Zierahn, U., & al, e. (2016). *Racing With or Against the Machine? Evidence from Europe*.