

**UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**INDÚSTRIA 4.0: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICADAS À**  
**ENGENHARIA DE PROCESSOS**

Isadora Alvarenga Franco Naves

UBERLÂNDIA-MG

2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**INDÚSTRIA 4.0: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICADAS À**  
**ENGENHARIA DE PROCESSOS**

Isadora Alvarenga Franco Naves

Monografia de graduação apresentada a Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de curso, do curso de Engenharia Química.

UBERLÂNDIA-MG

2020

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA  
DISCIPLINA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ISADORA  
ALVARENGA FRANCO NAVES APRESENTADA À UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 09/10/2020.

BANCA EXAMINADORA:

---

Profª. Dr. Sarah Arvelos  
Orientadora – FEQUI/UFU

---

Prof. Dr. Rubens Gedraite  
FEQUI/UFU

---

Profª. Dra. Larissa Nayara S. S. Falleiros  
FEQUI/UFU

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de todo o trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de algumas pessoas, dentre as quais agradeço:

A professora Sarah, que me propôs esse tema quando a procurei que me ajudou muito durante o processo de escrita, acreditou em mim e sempre se mostrou muito presente e disposta a ajudar.

Agradeço também a minha Vó, Dona Vanda que esteve presente comigo em quase todos os dias em que comecei a escrever me dando força e sentindo orgulho de mim, graças a todo o carinho que recebi aqueles dias, consegui escrever boa parte do trabalho.

Por fim quero agradecer aos meus pais que sempre confiaram em mim e me apoiaram, ao meu cachorro Godzilla que sempre ficou deitado aos meus pés todo o tempo durante a pesquisa e escrita do trabalho me dando muito amor e carinho, e aos meus amigos que sempre acreditaram em mim, em especial quero agradecer a dois grandes amigos, o primeiro é Allan que sempre esteve comigo durante a graduação, estudando aos sábados, feriados e dias de semana, me dando apoio e amor o suficiente para chegar até aqui. E em segundo queria agradecer a Bárbara, que me ajudou a compreender melhor as coisas do mundo, trazendo leveza e felicidade nos dias onde achei que isso não seria possível. Allan e Bárbara agradeço por terem estado comigo na segunda parte de escrita do trabalho dividindo momentos de felicidades no nosso convívio diário, ajudando esse período a ser mais leve.

E gostaria de dedicar todo esse trabalho ao grande amor da minha vida, minha irmã Lavínia, pois todo o amor que sinto dá força pra sempre continuar, obrigado pelos sorrisos durante as tardes de quarentena sempre perguntando o que eu estava fazendo tantas horas sentada em frente ao computador.

## RESUMO

Atualmente, os engenheiros já atuantes no mercado de trabalho se deparam com uma nova era dentro da indústria que foi denominada de quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 (I4.0). Como se trata de um assunto novo, há uma contante busca sobre o assunto e, conseqüentemente, sobre as técnicas e facetas das tecnologias inerentes à I4.0. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a I4.0 e define formas como se expressa na indústria atual. O trabalho apresenta também aspectos importantes dos principais elementos que fazem parte I4.0 e também exemplos de algumas empresas que já utilizam I4.0 para fazer melhorias significativas em seus processos tais como a Basf, Exyte, Siemens, Henkel, Sibur e outras. Verificou-se que diferente das outras revoluções industriais, a I4.0 tem como sua maior característica a tecnologia aplicada da computação. A I4.0 possui elementos únicos como a internet das coisas (IoT), *Big Data* e mineração de dados. Estes elementos conseguem fazer um monitoramento preditivo de todos os dados que são gerados na indústria e também no mundo. Somando-se a estes, a inteligência artificial visa dar autonomia aos algoritmos. A aplicação de sensores ao desenvolvimento da robótica têm um objetivo bem definido: otimizar processos e obter dados e informações em tempo real, trazendo benefícios não só para indústria, mas também ao funcionário que ganha maior segurança ao poder trabalhar em casa. A partir de toda a pesquisa, pode-se concluir que a quarta revolução industrial já é uma realidade nos dias de hoje sendo quase onipresente no cotidiano das grandes empresas. Na atualidade, grandes investimentos têm sido feitos para a adesão das tecnologias citadas, bem como também na descoberta de formas para melhorar a forma de usá-las. O mercado de trabalho mudou e já vem exigindo cada vez mais que engenheiros tenham conhecimento sobre I4.0.

**Palavras-chave:** indústria 4.0, internet das coisas, inteligência artificial, monitoramento preditivo.

## ABSTRACT

Nowadays engineers who are already in the job market are facing a new era called the fourth industrial revolution (I4.0). As it is a new subject, there is a constant search on the subject and, consequently, on the techniques and facets of the technologies inherent to I4.0. This work presents an analysis through bibliographic reviews, about the fourth industrial revolution. The manuscript brings important aspects of main elements that are part of I4.0 and also examples of some companies that already use I4.0 to make significant improvements in their processes. It was found that unlike other industrial revolutions, I4.0 has as its greatest feature the applied technology of computing. I4.0 has unique elements such as the Internet of Things (IoT), Big Data and data mining. These elements manage to make a predictive monitoring of all the data that is generated in the industry and also in the world. Adding to these, the artificial intelligence aims to give autonomy to the algorithms. The application of sensors to the development of robotics has a well-defined objective: to optimize processes and obtain data and information in real time, bringing benefits not only to the industry, but also to the employee who gains greater security by being able to work at home. From all the research, it can be concluded that the fourth industrial revolution is already a reality today, being almost ubiquitous in the daily lives of large companies. Nowadays, large investments have been made for the adhesion of the mentioned technologies, as well as in the discovery of ways to improve the way of using them. The job market has changed and is increasingly demanding that engineers have knowledge about I4.0.

**Keywords:** industry 4.0, internet of things, artificial intelligence, advanced analytics

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição das diferentes revoluções industriais no tempo.....	6
Figura 2: Representação esquemática das principais ferramentas aplicadas na Indústria 4.0. ....	7
Figura 3: Elementos que compõe o sistema IoT.....	8
Figura 4: Principais características que o <i>Big Data</i> possui, denominadas de 5V's.....	12
Figura 5: Representação esquemática o processo de KDD. ....	14
Figura 6: Representação esquemática do processo CRISP-DM.....	15
Figura 7: Rôbos ‘‘COBOTS’’ trabalhando na indústria.....	21
Figura 8. (a) Rôbo Articulado e (b) Rôbo cartesiano. ....	23
Figura 9: Calibrador multifuncional portátil Yokogawa CA71.....	27
Figura 10: Sensor indutivo Pepperl Fuchs NBB20-U1-Z2. ....	27
Figura 11: Sensor WILSEN.sonic.level. ....	28
Figura 12: Medidor de fluxo eletromagnético ABB FEP300.....	29
Figura 13: Instalação biofarmacêutica composta por módulos Exycell e alimentação integrada da Siemens. ....	31
Figura 14: Especialistas em manutenção utilizam óculos de realidade aumentada na empresa Sibur. ....	32
Figura 15: Robô utilizado pela Basf para simular movimentos na linha de pintura. ....	34

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3 METODOLOGIA .....	4
4 DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS.....	5
4.1 Indústria 4.0 .....	5
4.2 Internet das Coisas .....	7
4.3 <i>Big Data</i> e Mineração de Dados ( <i>Data Mining</i> ) .....	10
4.4 Computação em nuvem.....	15
4.5 Inteligência artificial e aprendizado de máquina .....	18
4.6 Robótica .....	19
5 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS OS IMPACTOS SOBRE A INDÚSTRIA DE PROCESSOS QUÍMICOS .....	24
5.1 Indústria 4.0 para melhorar a confiabilidade.....	24
5.2 Sensores inteligentes .....	26
5.3 Uma aliança para a internet das coisas.....	29
5.4 Siemens e Exyte unem forças para fornecer soluções integradas para a construção rápida de instalações.....	30
5.5 Sibur adota tecnologia para a transformação digital.....	31
5.6 Henkel investe em aprendizado de máquina.....	32
5.7 Basf inova no campo da robótica .....	33
6 CONCLUSÕES .....	35
7 REFERÊNCIAS.....	36



# 1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século XXI houve um rápido avanço da tecnologia com a popularização da internet. Na indústria, a influência da internet não foi diferente. Houve várias mudanças em grande escala, tanto quantitativas quanto qualitativas visando alcançar melhorias. Assim, a indústria atual passa pelo que se chama de transformação digital, visando atender uma demanda exigente em um ambiente muito mais competitivo. Essa revolução tecnológica nas indústrias foi denominada como Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4.0) (BEIER et al., 2020).

Para obter de fato uma I4.0 é necessário transformar processos manuais em processos mais evoluídos tecnologicamente. Logo, é de extrema importância o trabalho do engenheiro, em especial, o do engenheiro químico devido à sua formação sistêmica (CREMASCO, 2015). A junção de habilidades científicas, técnicas, humanas e sociais permitem ao engenheiro buscar soluções inovadoras, propostas computacionais, *softwares*, entre outras ferramentas de interesse da indústria química que são de grande complexidade.

Inserir esses novos processos envolve muitos fatores de risco e desafios. O gerenciamento de projetos e processos já não é mais o mesmo de 20 anos atrás. Na era digital, os engenheiros estão constantemente sendo desafiados com mudanças e pressões para inovar.

Segundo Mohanta, Nanda e Patnaik (2020) alguns desses fatores de risco são: Volatilidade, Ambiguidade, Complexidade e Incerteza. Esses fatores são abreviados como V.U.C.A. e o termo “mundo V.U.C.A” tem se tornado corriqueiro no mundo corporativo. A consciência deste mundo permite ao engenheiro identificar e definir as contingências. V.U.C.A. é de extrema importância o trabalho, pois pode evitar resultados catastróficos e problemas em cascata em uma organização.

As principais tecnologias abordadas na I4.0 são as tecnologias de informações chamadas também, neste contexto, de tecnologias facilitadoras. Elas são necessárias para ajudar máquinas e dispositivos a variarem seu comportamento de acordo com as situações desejadas e com experiências já obtidas anteriormente. Essas tecnologias permitem resolver problemas de fabricação dinamicamente, facilitando tomada de decisões rápidas. Com a ajuda dessas tecnologias subjacentes é possível obter uma comunicação direta em tempo real com diferentes sistemas de fabricação. Essa estrutura

conceitual de fabricação inteligente tem como principais tecnologias facilitadoras: análise de big data, sistemas ciber-físicos, internet das coisas, tecnologia da informação e comunicação e computação em nuvem (KUMAR; ZINDANI; DAVIM, 2019).

É importante salientar que o impacto da I4.0 vai além dessa digitalização de novas tecnologias, pois ela também gera uma forma ainda mais ampla de inovação. Ela força empresas a mudarem a forma como geram seus negócios e processos, como elas estão posicionadas na cadeia de valor, como são feitas as ações de *marketing* e de distribuição e como introduzem seu produto no mercado.

Essa abordagem mais ampla da inovação é chamada no Japão de Sociedade 5.0. Segundo Granrath (2019) essa é uma expressão mais abrangente, a qual considera que a fabricação não está mais no centro de toda sociedade e sim o bem-estar humano. A Sociedade 5.0 é uma proposta de organização social que incentiva o uso das tecnologias facilitadoras para criar soluções para as necessidades humanas. Assim, mais uma vez, a formação sistêmica do engenheiro químico pode mostrar sua importância. Cabe aos profissionais ligados às mudanças industriais que também interconectem a atividade das fábricas aos aspectos da sociedade visando a melhoria da vida cotidiana.

O presente trabalho de conclusão de curso está subdividido como a seguir. O Capítulo 2 apresenta os objetivos gerais e específicos do trabalho. O Capítulo 3 identifica a metodologia empregada para que os objetivos fossem atingidos. O Capítulo 4 apresenta uma breve revisão de literatura sobre os conceitos fundamentais necessários para a compreensão da pesquisa bibliográfica realizada, envolvendo Internet das Coisas, computação em nuvem, inteligência artificial, monitoramento preditivo e big data. Após esta revisão, Capítulo 5 apresenta detalhes sobre como a I4.0 já uma realizada em grandes companhias situadas no Brasil e no mundo. Neste Capítulo, foco foi dado em exemplos voltados para as indústrias de processos químicos. No Capítulo 6, serão destacados como a formação do engenheiro químico auxiliar hoje na implementação da I4.0. Além disso, foram destacadas oportunidades de melhoria nos cursos de graduação do país, visando-se preparar o aluno para que seja um profissional sistêmico. No Capítulo 7, tem-se a Conclusão do trabalho. O Capítulo 8 apresenta o referencial teórico completo utilizado para a obtenção deste estudo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Em virtude do que foi apresentado, o objetivo do presente trabalho de conclusão de curso foi realizar uma revisão de literatura visando-se definir e compreender aspectos importantes do que se convencionou chamar de I4.0 ou quarta revolução industrial.

### 2.2. Objetivos específicos

- Definir conceitos importantes para a I4.0, a saber: Internet das Coisas, computação em nuvem, inteligência artificial, aprendizado de máquina, desenvolvimento da robótica, monitoramento preditivo e *big data*;
- Apresentar exemplos recentes sobre como a quarta revolução industrial pode melhorar sistemas de gestão de processos e a confiabilidade de processos químicos;
- Discutir as principais contribuições e desafios da formação do engenheiro químico para o desenvolvimento das novas indústrias e a modernização das já implantadas;
- Mostrar as perspectivas futuras para a I4.0.

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho foi elaborado a partir de uma revisão da literatura sobre Indústria 4.0 e processos químicos, tendo como critério a seleção de artigos científicos, capítulos de livros, livros e sites com ano de publicação variando entre 2009 a 2020. As plataformas de busca foram: o “SCIENCEDIRECT” (2020), “GOOGLE ACADÊMICO” (2020) e “GOOGLE LIVROS” (2020) e livros adquiridos nas principais livrarias. As expressões utilizadas nas buscas foram: “industry 4.0”, “chemical engineering”, “internet of things”, “advanced analytics”, “big data”, “artificial intelligence” e “robotics”.

## 4 DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS

A Indústria 4.0 faz uso de tecnologias que são divididas em 4 grupos: a) Comunicação e dados (por exemplo, internet das coisas, *big data*, computação em nuvem e outros); b) monitoramento preditivo - ou *Advanced Analytics* (inteligência artificial, aprendizado de máquina, mineração de dados e outros); c) interface avançada homem-máquina (por exemplo, realidade aumentada); d) atuadores avançados (robótica, impressora 3D e outros) (HOCAOĞLU; GENÇ, 2019).

Para melhor compreensão das aplicações a serem comentadas no presente trabalho, os itens 4.1 a 4.7 apresentarão uma definição formal de conceitos e tecnologias importantes que são relacionados ao tema propostos. São eles: Indústria 4.0, Internet das Coisas, *big data*, mineração de dados, computação em nuvem, inteligência artificial, aprendizado de máquina e robótica.

### 4.1 Indústria 4.0

O mundo já presenciou ao longo da sua história três principais fases da indústria que foram definidas como revoluções industriais. A primeira revolução industrial se iniciou no Reino Unido, um pouco antes de 1800, durando até 1913 e é lembrada pelo surgimento do uso de vapor, carvão e ferro em elementos industriais (DATHEIN, 2003).

A segunda revolução industrial foi definida como sendo continuidade da primeira. Nela apareceram novas técnicas industriais, novas máquinas, novos métodos de produção e também houve a expansão para outros países como Estados Unidos, França, Rússia, Japão e Alemanha não se concentrando somente na Inglaterra. A mesma é lembrada pelo surgimento do aço, eletricidade e o petróleo dentro da indústria.

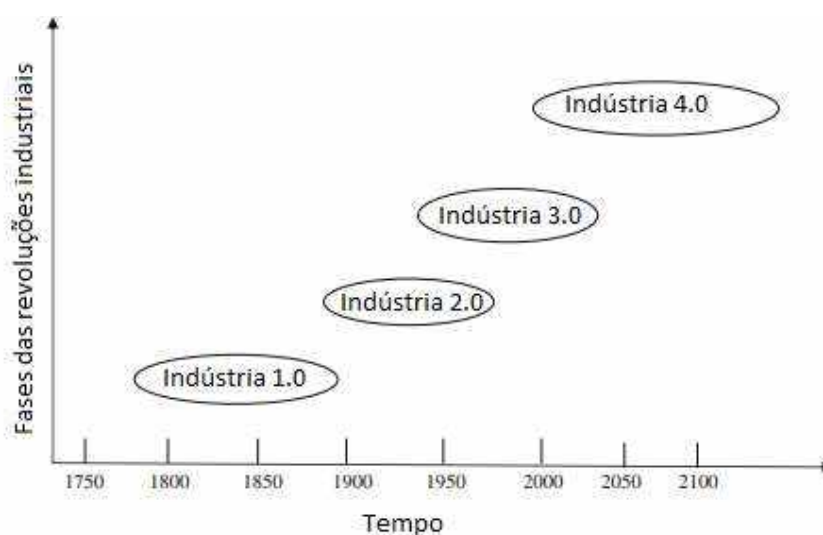
A terceira revolução industrial começou em meados do século XX, após a segunda guerra mundial. Ela ganhou destaque a partir de avanços tecnológicos e científicos como também o surgimento de fibra ótica, lasers, holografia, biogenética, processadores de texto, robótica que foram usados na automação do processo produtivo na indústria (FINKELSTEIN; NEWMAN, 1984).

No começo do século XXI, iniciou-se a quarta revolução industrial que teve origem na Alemanha com o conceito de Indústria 4.0. Tal conceito foi reconhecido por outras nações industriais líderes, embora seja conhecido como "Empresa Conectada" (*Connected company*) nos Estados Unidos e a "Quarta Revolução Industrial" no Reino Unido (SANDSTROM, 2020).

A quarta revolução industrial engloba todas as características das outras revoluções incorporando questões sociais e ambientais dando destaque à sustentabilidade na indústria como um todo (GARBIE, 2015).

As representações cronológicas das revoluções são melhores representadas na Figura 1.

Figura 1: Distribuição das diferentes revoluções industriais no tempo.



FONTE: Garbie (2015).

A I4.0 tem como destaque a rapidez com que informações são obtidas dentro da indústria com a utilização de dispositivos de alta tecnologia. Essa revolução impacta não somente os métodos de produção de uma indústria, mas também a forma que o produto é procurado, distribuído e consumido em relação à demanda de fabricação.

Segundo Navyar e Kumar (2020), existem quatro princípios fundamentais ligados a I4.0, são eles: interconexão, transparência das informações, assistência técnica e serviços descentralizados. Esses princípios são primordiais, pois eles dão uma visão

geral de como conectar máquinas de sistemas físicos com sensores para a troca rápida de informações, ajudar na coleta de dados para uma tomada de decisão ou até auxiliar máquinas para a tomada de decisão automática, entre outras coisas. O objetivo é interconectar toda a produção e permitir a sua transmissão em tempo real de interação. As principais ferramentas aplicadas na indústria 4.0 são mostradas esquematicamente na Figura 2. Dentre estas, este trabalho destaca a computação em nuvem, análise de big data, Internet das Coisas e sistemas físicos cibernéticos como os fundamentos tecnológicos essenciais para esta revolução industrial.

Figura 2: Representação esquemática das principais ferramentas aplicadas na Indústria 4.0.



FONTE: Kanagachidambaresan, Anand, Balasubramanian e Mahima (2020).

## 4.2 Internet das Coisas

O termo internet das coisas (IoT) foi cunhado pelo professor Ashton do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 1999 e, inicialmente, dizia respeito ao fato de que todas as “coisas” poderiam ser interconectadas por uma rede sem fio. Esta conexão se dá por etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification Tags*), sensores de

infravermelho, sistemas de posicionamento global (GPS), *scanners* a laser, sensores de gás e outros equipamentos de detecção de informações (JIAO; LIU, 2019).

A IoT surge quando se interconectam “coisas” com máquinas e não mais só com humanos. Esse conceito está intimamente conectado com a I4.0, uma vez que dois dos seus pilares são a rapidez de informações e a transmissão de dados. De uma maneira geral, a IoT permite que qualquer objeto que tenha capacidade computacional se conecte à rede de internet (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019).

Na IoT a unidade básica de hardware deverá apresentar ao menos uma das seguintes características: unidade(s) de processamento, unidade(s) de memória, unidade(s) de comunicação e, unidade(s) de sensor(es) ou atuador(es). Aos dispositivos com essas qualidades é dado o nome de objetos inteligentes (Smart Objects). (JIAO; LIU, 2019)

Dentro da I4.0 a IoT atua como um sistema que compreende objetos inteligentes em rede, ativos ciber-físicos, tecnologias da informação associadas e plataformas opcionais de computação na nuvem que permitem entre várias coisas a comunicação e troca de informações sobre o processo como um todo em tempo real. (SULTANOW; CHIRCU, 2019).

Os elementos essenciais da rede de IoT são apresentados na Figura 3. Tal Figura explicita os seis elementos necessários para o funcionamento da IoT.

Figura 3: Elementos que compõe o sistema IoT.



FONTE: Jiao e Ping Liu (2019).

Segundo Al-Fuqaha et al. (2015), conforme apresentado na Figura 3, existem 6 elementos imprescindíveis para que a IoT ocorra.

A primeira etapa é Identificação. Essa etapa é fundamental na IoT pois através dela é possível identificar os objetos para conectá-los a internet. Para identificar os objetos algumas tecnologias estão disponíveis para serem utilizadas, como: códigos eletrônicos de produto (EPC), códigos onipresentes (uCode), RFID, NFC (Near Field Communication) e endereçamento IP. Além disso é imprescindível diferenciar entre o



ID do objeto e seu endereço pois os métodos de identificação não são globalmente exclusivos, portanto, o endereçamento ajuda a identificar objetos que vem de IPs públicos e não particulares, através desse método de identificação é possível definir uma identidade clara para cada objeto dentro da rede.

Na segunda etapa ocorre a Detecção através de sensores/atuadores de IoT. Esses sensores coletam informações de objetos relacionados dentro da rede, eles são armazenados e encaminhados para *data warehouse*, centros de armazenamento ou nuvem. Os dados obtidos depois de analisados são utilizados para ações específicas quando necessárias. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir quando acionados.

Na terceira etapa ocorre a Comunicação entre as tecnologias IoT e objetos, afim de fornecerem serviços inteligentes específicos. A comunicação também desempenha um papel importante quanto ao consumo de energia dos objetos que devem operar em baixo consumo na presença de links de comunicação. Alguns exemplos de tecnologias usadas para que ocorra essa comunicação são: WiFi, Bluetooth, IEEE, RFID, NFC (*Near Field Communication*) e banda ultra larga (UWB).

A Computação é a quarta etapa, nela é feita a inclusão de unidades de processamentos feita com microcontroladores, microprocessadores, SOCs, FPGAs e aplicativos de *software* que juntos representam o "cerébro" e a capacidade computacional da IoT. Eles são responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.

A quinta etapa é classificada como Serviços. Dentro da IoT existem várias classes de serviços:

- Serviços relacionados à identidade, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV); Agregação de dados que coletam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes;
- Serviços Colaborativos, que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário e
- Serviços de Ubiquidade, que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.

A IoT tem por último elemento a Semântica. Entende-se por semântica à capacidade de extrair conhecimento inteligente de diferentes máquinas para fornecer os serviços necessários, ou seja, nesse caso, extrair conhecimento dos objetos IoT afim de

descobrir através dos dados obtidos como usar os recursos já existentes de forma eficiente, e então, tomar decisões para determinados serviços. Para isso, podem ser usadas diversas técnicas como *Resource Description Framework (RDF)*, *Web Ontology Language (OWL)* e *Efficient XML Interchange (EXI)*.

Através desse ambiente da IoT foi possível obter automação para diversos fins, como usinagem, aquecimento, iluminação do espaço e monitoramento remoto. Sua principal característica de atuação é criar objetos inteligentes através da tecnologia de identificação automática (KUMAR; ZINDANI; DAVIM, 2019). Com essa tecnologia se tem além da interação máquina-máquina, a segurança dos trabalhadores, o aumento da produtividade, tomada de decisão imediata com segurança e sinais precisos de quando uma máquina está prestes a falhar.

Mas, como todo banco de dados, essa tecnologia de ponta também apresenta riscos para quem a utiliza, ela está propícia a ataques cibernéticos e falhas inesperadas. Com o intuito de proteger quem a utiliza, já existem pesquisas com foco em desenvolvimentos de algoritmos e criptografias para fornecer uma maior segurança ao se utilizar essa tecnologia tão importante e essencial. (GILCHRIST; GILCHRIST, 2016).

### **4.3 *Big Data* e Mineração de Dados (*Data Mining*)**

*Big Data* é um termo usado para conjuntos de dados de grande volume que contém informações variadas que são acumuladas com o passar do tempo por empresas ou outros tipos de fontes de informações. Os dados contidos no *Big Data* são obtidos através de redes, dispositivos de áudio e vídeo, mídias sociais, e-mails, fluxos de cliques, que são produzidos pelo mundo inteiro a todo instante (RUSSOM, 2011). Os dados contidos no *Big Data* são classificados como estruturados, semiestruturados e não estruturados (SANTOS et al., 2018).

Os dados estruturados são dados que são fáceis de serem marcados e classificados como por exemplo: Um banco de dados específico com a descrição sobre a organização dos dados que serão armazenados no banco. Dados semiestruturados são aqueles que são difíceis de serem analisados mas contém informações onde se consegue separar alguns elementos de dados para classificação como por exemplo: Um arquivo XML que é uma linguagem de marcação estendida ou RDF (*Resource Description*

*Framework*). Dados não-estruturados são os dados que não seguem um modelo de estrutura, possuem várias informações pois são aleatórios, dificultando sua classificação, como, por exemplo, as redes sociais, arquivos de mídia e imagem, páginas de internet, entre outros.

O *Big Data* possui quantidades gigantescas de dados tornando então difícil a coleta de informações desejadas. Com isso, surgiu então o termo *Big Data Analytics* que é definido como o processo de análise de grandes quantidades de dados, ou seja, é feito uma análise de dados que estão contidos dentro do *Big Data*. O que acontece na prática é que profissionais de Ciências de Dados (*Data Science*) irão utilizar diversas ferramentas de computação, modelagem matemática e estatística para identificar tendências e oportunidades nos dados analisados (LOH, 2014). Através dessa análise é possível descobrir como as informações são correlacionadas e se elas possuem algum tipo de padrão. As ferramentas do *Big Data Analytics* são de extrema importância para as organizações, que, através dela, conseguem prever tendências de mercado, perfis de clientes entre outras informações relevantes (LOGIQUE, 2017).

O *Big Data* possui 5 características chamadas de 5V's, são elas: Volume, velocidade, variedade, veracidade e valor (LOH, 2019). A Figura 4 mostra as 5 características principais do Big Data denominadas de 5V's.

Segundo Loh (2019), identificar essas características em um banco de dados é muito importante para se entender se o problema em questão trata-se de um problema de *Big Data*. Segue, abaixo, uma descrição do 5V's, segundo a literatura consultada.

O primeiro “V” trata-se do Volume que se caracteriza pela explosão de informações que chegam, principalmente das redes sociais, onde se obtém milhares de informações a todo momento que vão sendo armazenadas gerando um volume gigantesco de banco de dados. No caso de uma indústria, grandes volumes de dados são gerados pelos instrumentos indicadores, responsáveis por informar medidas tais como vazões, velocidades, níveis, temperaturas, pH dentre outros.

O segundo “V” definido como Velocidade trata-se então da velocidade em que o conteúdo é criado, como, por exemplo, *posts* nas redes sociais Facebook e Instagram que atingem milhares de pessoas em poucos segundos, essas informações são criadas e obtidas a todo instante no mundo, fora as outras informações que são obtidas através de outras fontes como por exemplo máquinas, *e-mails*, dispositivos de áudios entre outros. No caso de uma indústria, tem-se o exemplo das informações coletadas pelos instrumentos indicadores, informações estas que se coletadas em frações de segundos,

podem se acumular, gerando um gigantesco banco de dados mensalmente ou anualmente.

Figura 4: Principais características que o *Big Data* possui, denominadas de 5V's.



FONTE: Step (2015).

O terceiro “V” é de Variedade uma outra característica do *Big Data* que está diretamente relacionada com o Volume, pois quanto maior o número de dados vindos de diversas fontes, maior a diversidade e a variedade de informações que estão sendo armazenadas.

O quarto “V” consiste na Veracidade. Com o grande volume de informações que chegam em alta velocidade, é necessário saber se essas informações são de fato verdadeiras, as informações recebidas devem condizer com a realidade do momento para serem utilizadas. Técnicas de análise para apuração da veracidade de informações são aplicadas para garantir sua qualidade e ajudar em tomadas de decisões. No caso de uma indústria, por exemplo, deve-se ter um controle rígido de calibração dos equipamento de medição ou uma estimativa de seu erro de medida, para que a análise dos dados não fique prejudicada.

O quinto e último “V” é o Valor, que tem como objetivo dar valor quantitativo para as informações obtidas. Essa é a característica mais importante pois é através dela

que as empresas utilizam as informações para aprimorarem seus conhecimentos e aumentarem seus negócios.

O *Big Data Analytics* como já descrito é uma técnica de análise de dados do *Big data*, porém é uma técnica mais complexa e, conseqüentemente, mais cara, já que ela engloba na sua análise todos os tipos de dados: estruturados, semiestruturados e não estruturados. Um conceito já existente denominado *Data Mining* ou "mineração de dados" também se caracteriza como técnica de análise de dados mas em bancos de dados menos complexos onde se concentra principalmente a análise de dados estruturados (HAND, 2007).

O *Data Mining* é uma grande ferramenta utilizada por empresas para obter informações cruciais de grande relevância sobre o mercado, perfis de clientes, padrões de máquinas, etc. Essa mineração de dados não é simples de se obter, mas é menos complexa e mais barata do que o *Big Data Analytics* e tem uma grande eficiência na obtenção de informações relevantes (CAMILO; SILVA, 2009).

De acordo com Camilo e Silva (2009), existem dois processos principais que são utilizados para a Mineração de Dados, sendo eles o KDD (*Knowledge Discovery in Databases* ou Descoberta de Conhecimento nas Bases de Dados) e o CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process of Data Mining*), apesar de pequenas diferenças eles possuem a mesma estrutura.

O KDD é um processo que acontece para a obtenção de conhecimento através da aplicação de algoritmos de análise e de descobertas de dados e o data mining é uma das etapas do processo. A Figura 5 trás todas as etapas do processo KDD (FÁVERO, 2019).

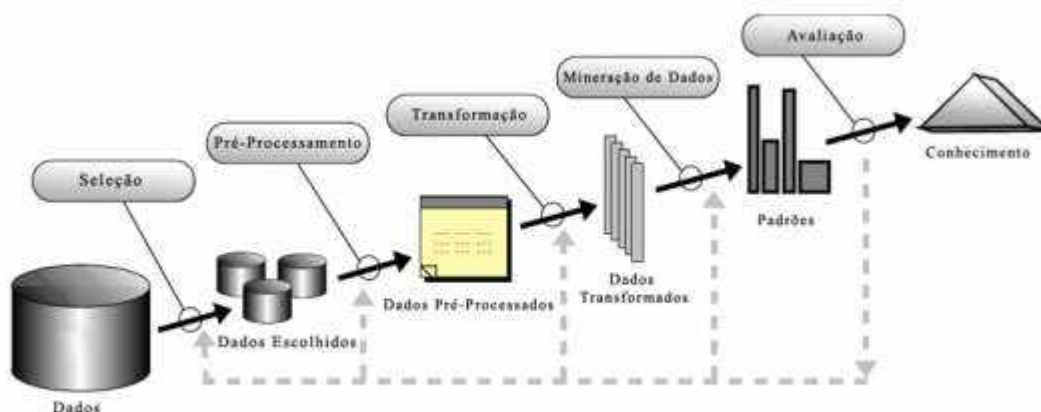
Segundo Wirth (2000) as fases do CRISP-DM são:

- Entendimento dos Negócios: Nessa fase se concentra a compreensão e objetivos que se deseja obter com a mineração de dados a fim de definir um melhor caminho para as próximas etapas.
- Entendimento dos Dados: Segunda fase do processo, nela começa uma coleta inicial dos dados até se familiarizar com eles, com isso é possível identificar problemas quanto à qualidade dos dados e detectar subconjuntos interessantes para formar hipóteses.
- Preparação dos Dados: Alguns dados não estão preparados para receberem os métodos de mineração, com isso, nessa etapa é feita uma filtragem dos dados, limpeza e construção de novos atributos para que o processo seja feito de forma eficiente.

- Modelagem: É nessa fase que algoritmos de mineração são aplicados, existem várias técnicas que podem ser utilizadas nessa fase e a escolha deles depende do objetivo de cada um.
- Avaliação: Quinta fase do processo, nela é feita uma avaliação rigorosa do modelo revisando todas as outras etapas, essa avaliação é feita para garantir que a mineração de dados atinja adequadamente os objetivos de negócios. É considerada uma fase crítica do processo de mineração. Por isso, nessa etapa é necessária a participação de especialistas de dados, conhecedores de negócio e tomadores de decisão.
- Distribuição: A sexta e última etapa, nela o modelo é executado com dados reais e apresentado ao cliente de forma que o mesmo consiga usá-lo.

Essas técnicas são de extrema importância para a I4.0 pois através delas é possível a obtenção de informações que muitas vezes são desconhecidas para a indústria (KUMAR; ZINDANI; DAVIM, 2019).

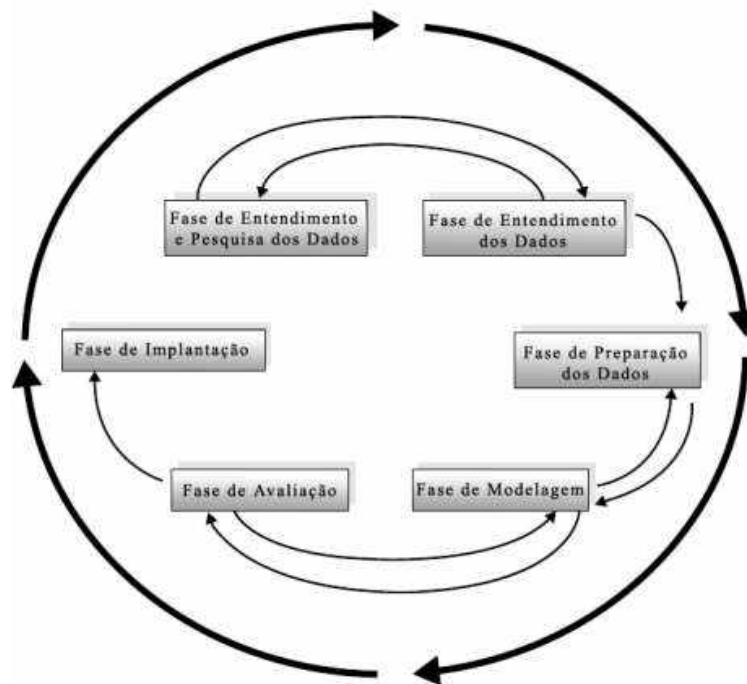
Figura 5: Representação esquemática o processo de KDD.



FONTE: Camilo e Silva (2009).

O CRISP-DM é um processo referência para mineração de dados e fornece uma visão geral do ciclo de vida de um dado projeto de mineração. Ele contém as fases de um projeto, suas respectivas tarefas e seus resultados (WIRTH, 2000). O CRISP-DM possui 6 fases conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Representação esquemática do processo CRISP-DM.



FONTE: Camilo e Silva (2009).

#### 4.4 Computação em nuvem

A computação em nuvem é a capacidade de acessar um conjunto de recursos de computação pertencentes e mantidos por terceiros via internet. A "nuvem" é composta por *hardwares*, armazenamento, redes, interfaces e serviços que fornecem os meios pelos quais os usuários podem acessar as infra-estruturas, poder computacional, aplicativos e serviços sob demanda, que são independente de locais. Assim, os dados disponíveis na "nuvem" podem ser acessados por vários usuários de qualquer lugar por dispositivos diferentes como *smartphones*, computadores, tablets, servidores entre outros (ARORA; PARASHAR, 2013).

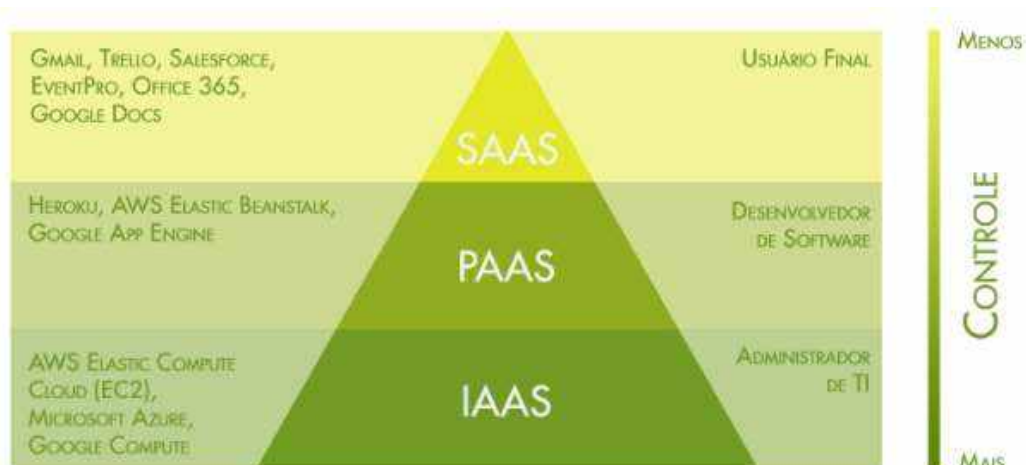
A computação em nuvem não é considerada uma nova tecnologia e sim um modelo que ajuda a fornecer recursos com tecnologias já existentes. Ela foi criada com o objetivo de fornecer serviços de fácil acesso e de baixo custo que visam fornecer três principais benefícios para quem o utiliza. São eles: Redução de custos de aquisição e

composição específicas de infraestruturas de acordo com necessidades de cada empresa, flexibilidade para as empresas na substituição de recursos computacionais nos níveis *hardware* ou *software* e dar flexibilidade de acesso para os usuários (MOREIRA; MACHADO, 2015).

Existem diferentes tipos de nuvens: públicas, privadas e híbridas. As nuvens públicas são as que tem seu acesso liberado para uso de um público em geral, as nuvens privadas restringem seu acesso a um determinado público e as nuvens híbridas possuem dentro delas uma composição de uma ou mais nuvens, que podem ser tanto privadas quanto públicas (ACADEMIA IN, 2018).

Todos esses tipos de nuvens se dividem em três principais estruturas computacionais: *Software as a Service* (SaaS), *Platform as a Service* (PaaS) e *Infrastructure as a Service* (IaaS). A Figura 7 mostra como essas estruturas estão interligadas e alguns exemplos delas.

Figura 7: Três pilares (estruturas) principais da computação em nuvem.



FONTE: Bras e Cloud (2019)

De acordo com Moreira e Machado (2015) essas estruturas são definidas como:

- SaaS: é um modelo que proporciona sistemas de *softwares* com objetivos específicos que estão disponíveis para usuários na internet. Ele fornece aplicativos em um ambiente de hospedagem que pode ser acessado por vários usuários por meio de vários dispositivos permitindo uma maior integração entre unidades de uma mesma empresa, permitindo que novos recursos sejam incorporados automaticamente. Ele não precisa de



licenças de sistemas de *softwares* e por isso gera uma redução de custo. alguns exemplos de SaaS são: Salesforce.com, Google Mail, Google Docs, Customer Relationship Management (CRM) da Salesforce, entre outros.

- PaaS: é uma plataforma que oferece uma infraestrutura de alto nível de integração para testar aplicações na nuvem. No serviço PaaS o usuário tem controle sobre as aplicações implantadas e nas configurações das aplicações que estão na infraestrutura da nuvem. A diferença entre SaaS e PaaS é que o SaaS apenas hospeda aplicativos concluídos em nuvem, enquanto o PaaS oferece uma plataforma de desenvolvimento.. Ou seja, o PaaS possui uma infraestrutura de criação que inclui um ambiente de programação que auxilia na implementação de sistemas de *software*. Um exemplo de PaaS é o Google AppEngine.
- IaaS: é a parte responsável por prover toda a infraestrutura necessária para a PaaS e o SaaS. Seu objetivo é facilitar o acesso e o fornecimento de recursos de computação fundamentais para construir um ambiente sob demanda que incluem sistemas operacionais e aplicativos. Ele fornece memória, espaço de armazenamento, espaço físico para o servidor, equipamento de rede, entre outros recursos essenciais para manter o *hardware* funcionando. O Amazon Elastic Cloud Computing (EC2) e o *Elastic Utility Computing Architecture Linking Your Programs To Useful Systems* (Eucalyptus) são exemplos de IaaS.

Algumas das aplicações típicas da computação em nuvem incluem educação, saúde, transporte, fabricação e assim por diante. Todos os aplicativos que podem ser executados usando um computador normal podem ser executados satisfatoriamente pela estrutura da computação em nuvem (KUMAR; ZINDANI; DAVIM, 2019).

Ter um sistema de computação em nuvem possui vantagens significativas dentro de uma indústria, pois a nuvem se torna o ambiente comum para todos os dados salvos, interligando a indústria como um todo, podendo ser acessados de qualquer lugar a qualquer hora (DAIM; FAILI, 2019).

#### 4.5 Inteligência artificial e aprendizado de máquina

A inteligência artificial (IA) é a ligação e prática de todas as tecnologias já descritas nesse trabalho, ela visa de uma forma geral imitar comportamentos humanos em máquinas para aprender a otimizar processos, diminuir tempo e aumentar a produtividade dos funcionários dentro da indústria e em outras áreas da vida.

O termo inteligência artificial foi criado em 1956, iniciando também as primeiras pesquisas sobre o assunto, as pesquisas exploravam principalmente o tema “resolução de problemas” de forma rápida e precisa. Na década de 1960, os EUA se interessaram por essa tecnologia e começaram a treinar computadores para imitar o raciocínio do cérebro humano. Assim, começaram os primeiros trabalhos que forneciam o caminho para a automação e o raciocínio que hoje vemos nos computadores. A Figura 9 mostra de uma forma resumida a evolução da IA ao longo dos anos (GOODNIGHT, 2020).

Figura 8: Evolução dos estudos de IA ao longo do tempo.



FONTE: Adaptado de Goodnight (2020).

A IA hoje é onipresente na vida dos seres humanos ela se encontra não só nas indústrias mas também na área da saúde, jurídica, financeira, esporte entre outras. Um exemplo da utilização da IA fora da indústria é que ela é usada para capturar imagens e gerar relatórios aos treinadores sobre como melhorar e organizar um jogo e ajuda a definir estratégias e posições em campo no esporte. Dentro da manufatura, a IA analisa dados fornecidos pela IoT. Conforme os dados são transmitidos dos equipamentos

conectados, ela consegue prever problemas e sugerir e/ou implementar soluções (KUMAR; ZINDANI; DAVIM, 2019).

A IoT faz com que a indústria gere grandes quantidades de dados. Os algoritmos inteligentes que embasam a IA processam estes dados de forma rápida, ágil e interativa permitindo ao *software* aprender automaticamente com padrões ou informações nos dados. Segundo Navyar (2020), a IA possui alguns subcampos, são alguns deles:

- ***Machine learning***: é a automatização da construção de modelos analíticos, essa tecnologia usa as algoritmos de aprendizagem supervisionada e não supervisionada para encontrar *insights* escondidos em dados para ajudar na tomada de decisão.
- ***Deep learning***: é um tipo de *machine learning* que treina computadores para realizar tarefas como seres humanos. Ele consegue, por exemplo, reconhecer uma fala ou identificar uma imagem. O *deep learning* treina computadores para aprenderem sozinho através do reconhecimento de padrões que são obtidos através da análise de dados.
- **Computação cognitiva**: tem como objetivo simular o processo de pensamento humano em um modelo computadorizado e transmitir a informação para as máquinas. Para fazer isso ela utiliza algoritmos de auto-aprendizagem que usam o *data mining* para reconhecer padrões de linguagem natural e processá-los de acordo com a necessidade do momento.

De uma forma geral a utilização da IA na indústria tem como objetivo tornar a produção mais rápida e eficaz, otimizando tempo e custos, ela é um dos pilares da nova revolução industrial, pois ela permite a utilização de robôs para realizarem tarefas que não podem ser feitas por humanos, como, por exemplo, manusear com matérias primas perigosas, ou entrar em lugares que contém radiação. Como os robôs não são tão inteligentes, existe toda essa estrutura tecnológica para ajudar a aprimorar essa técnicas para sua utilização dentro da indústria (TOTVS, 2018).

#### 4.6 Robótica

Uma área existente dentro da I4.0 que movimenta bastante o mercado nessa nova era é a robótica que junto com os sistemas de automação são agora onipresentes na

vida humana. Atualmente, a internet hoje conecta sistemas de automação de fábricas aos clientes e fornecedores a fim de construir uma "fábrica virtual". Os robôs hoje são muito solicitados dentro da indústria pois conseguem trabalhar de forma massiva em um tempo ágil e com uma margem de erro muito pequena. Também são procurados principalmente para fazerem serviços que humanos não podem realizar, como por exemplo serviços em lugares insalubres (BRUGALI; FAYAD, 2002).

De 2013 a 2017, a venda de robôs industriais cresceu 114%. Em 2017, , 261.800 robôs foram vendidos em todo o mundo, um aumento em 37% em relação a 2015. Para a evolução do mercado nos próximos anos, o relatório estima que, em 2021, o número de robôs industriais vendidos em todo o mundo deve chegar a 630.000 (BEIER et al., 2020).

Assim como todos os tópicos apresentados na I4.0, a robótica também visa otimizar processos, tempo, melhorar a produtividade e também ajudar na tomada de decisão quando solicitada. André (2019) comenta sobre algumas vantagens de se utilizar a robótica dentro da indústria, são elas:

- Redução dos custos de produção com rápido retorno do investimento;
- Otimização do ciclo de fabricação por robôs que aumentam taxas de produção;
- Melhoria da qualidade com tarefas específicas realizadas na produção
- linha;
- Economia de espaço tornando o fluxo do processo mais eficiente;
- Redução de desperdício com robôs que podem economizar matéria-prima;
- Menos operadores especializados trabalhando perto da produção pelo uso de robôs de linha.

Para dar um caráter mais humano aos robôs é utilizado a inteligência artificial. Através dela os robôs são ensinados a pensar antes de agir, aprender a tomar decisões, reconhecer falhas e encontrar padrões repetitivos (FACULDADE IMPACTA, 2019).

Existem dois tipos de robos dentro da I4.0. O primeiro tipo são os chamados “robôs colaborativos” que são aqueles que trabalham junto com os seres humanos e tem uma interação direta e segura, conhecidos também como COBOTS. A Figura 7 mostra uma pessoa trabalhando juntamente com um robô. Existe também o “robô isolado” que

é aquele trabalha em locais insalubres, mas são controlados por seres humanos de um lugar seguro.

Figura 7: Rôbos ‘‘COBOTS’’ trabalhando na indústria.



FONTE: Rajendran (2017).

Dentro destas duas classes, existem 6 subclasses de robôs industriais: Articulado (Figura 8(a)); Cartesianos (Figura 8(b)); Cilíndrico; Polar, Sacara e Delta (SILVEIRA, 2019):

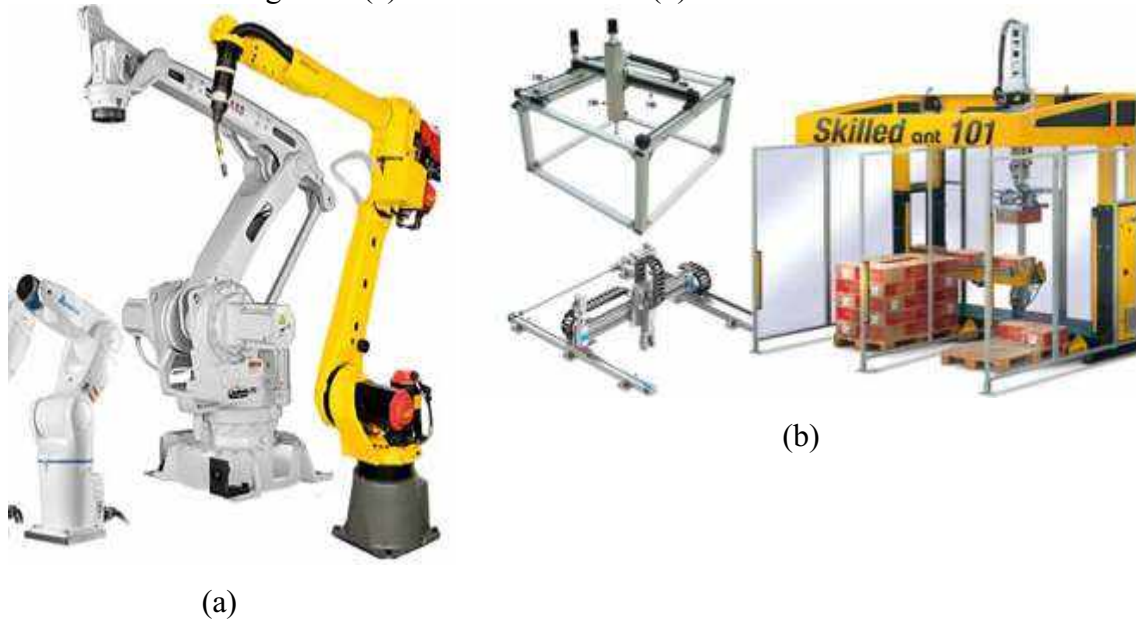
- **Articulado** - Este projeto de robô apresenta juntas rotativas e pode variar de simples estruturas de duas juntas a 10 ou mais juntas. O braço é conectado à base por uma junta de torção. Os *links* no braço são conectados por juntas rotativas. Cada junta é chamada de eixo e fornece um grau adicional de liberdade ou amplitude de movimento. Os robôs industriais geralmente têm quatro ou seis eixos.
- **Cartesianos** - também chamados de robôs retilíneos ou *gantry*. Os robôs cartesianos têm três juntas lineares que usam o sistema de coordenadas cartesianas (X, Y e Z).
- **Cilíndrico** - O robô possui pelo menos uma junta rotativa na base e pelo menos uma junta prismática para conectar os elos. A junta rotativa usa um movimento rotacional ao longo do eixo da junta, enquanto a junta prismática se move em

um movimento linear. Os robôs cilíndricos operam dentro de um envelope de trabalho de forma cilíndrica.

- **Polar** - Também chamados de robôs esféricos, nesta configuração o braço é conectado à base por uma junta de torção e uma combinação de duas juntas rotativas e uma junta linear. Os eixos formam um sistema de coordenadas polares e criam um envelope de trabalho em formato esférico.
- **SCARA** - comumente usado em aplicações de montagem, este braço seletivamente compatível para montagem robótica é principalmente cilíndrico em *design*. Possui duas juntas paralelas que fornecem conformidade em um plano selecionado.
- **Delta** - Esses robôs semelhantes a aranhas são construídos a partir de paralelogramos articulados conectados a uma base comum. Os paralelogramos movem um único EOAT em uma área de trabalho em forma de cúpula. Muito utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica e eletrônica, esta configuração de robô é capaz de movimentos delicados e precisos.

Os robôs possuem diversas vantagens e também desvantagens, são escolhidos de acordo com a tarefa que se deseja executar, sempre visando a parte de melhoria de processos. Uma grande questão da introdução de robôs na indústria seria a não utilizar mais a mão-de-obra humana, mas acredita-se que os robôs só irão abrir um espaço para a qualificação humana na questão de reparos e controle dessas máquinas para aperfeiçoar a indústria em suas diversas faces. A ideia central é que humanos e robôs sempre trabalhem juntos(TOTVS, 2020).

Figura 8. (a) Rôbo Articulado e (b) Rôbo cartesiano.



Fonte: Silveira (2019).

## 5 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS OS IMPACTOS SOBRE A INDÚSTRIA DE PROCESSOS QUÍMICOS

Muitas ineficiências que ocorrem tanto no processo de produção quanto na cadeia de suprimentos podem ser diminuídas com aplicações de técnicas que fazem parte da indústria 4.0. Tais técnicas podem transformar os negócios tradicionais deixando-os mais sustentáveis, lucrativos e seguros. Com o desenvolvimento tecnológico, diferentes metodologias foram utilizadas na última década (DAIM; FAILI, 2019). Este capítulo vem apresentar alguns exemplos de avanço na área de processos químicos.

### 5.1 Indústria 4.0 para melhorar a confiabilidade

As indústrias de processos químicos buscam, assim como todas as outras, maximizar a produtividade e as oportunidades de crescimento e, ao mesmo tempo, reduzir custos operacionais e buscar a sustentabilidade. Com as tecnologias descritas nesse trabalho e a renovação tecnológica promovida pela I4.0, as indústrias têm alcançado resultados significativos quanto à otimização dos processos e obtenção de recursos. Além disso, as mesmas têm saído na frente em comparação com outras indústrias que ainda não abraçaram a revolução digital, visto que ainda existe uma relutância por uma parte de alguns setores por aderir a essas novas tecnologias (POGMORE, 2019).

No dia-a-dia de uma indústria alguns problemas recorrentes acontecem prejudicando de forma drástica a linha de produção, são alguns deles:

- **Tempo de parada de máquinas** : Algumas máquinas podem apresentar falhas como fadiga por vibração, falhas de rolamento ou lubrificação inadequada. Se estes forem fatores recorrentes, os mesmos podem causar sérios danos na linha de produção para além do fato de que toda vez que o processo pára a fábrica não produz (não gera lucro).

- **Vibração**: A vibração é ocorre na maioria dos equipamentos rotativos, mas qualquer mudança nos níveis dessa vibração é um indicador importante de uma falha em desenvolvimento que - se não for verificada - pode levar a falhas e tempo de



inatividade não planejado. Ou seja prever qualquer falha nesse equipamento é crucial dentro da indústria química.

• **Falha de rolamento:** Os rolamentos são altamente sensíveis a fatores externos. Contaminação de partículas, mudanças de pressão no impulsor ou eixo, desalinhamento ou lubrificação deficiente podem ser fatores que resultam em falha prematura do rolamento que trazem repetidas paradas para uma planta.

• **Lubrificação:** Problemas significativos geralmente surgem de questões comparativamente pequenas, e a lubrificação é um exemplo clássico. Frequentemente, é trata tardiamente, agrupada com outras atividades de manutenção. Portanto a lubrificação também deve ser parte de qualquer manutenção dentro da indústria.

Todos esses problemas podem ser amenizados e tratados de forma segura e eficaz com a I4.0 e suas tecnologias, gerando então mais confiabilidade e otimização de tempo e processos dentro da indústria (POGMORE, 2019).

Um exemplo de aplicação foi retratado por Irwin (2020) e é descrito a seguir. Um fabricante de aço rotineiramente fecha as operações para realizar manutenção em seus ativos, o que é muito caro. O aço durante sua produção pode, às vezes, deformar ou dobrar durante o processo, pois passa por diferentes estágios. Essas falhas só podem ser corrigidas a cada seis meses, bem como mensalmente para pequenos consertos, durante manutenções planejadas e muito caras que envolvem longos períodos de inatividade. Um gerente de processo procurou um engenheiro especialista em tratamento de dados, visando encontrar formas para reduzir os defeitos e localizar a causa raiz; identificar as variáveis-chave que mais importam e priorizar ativos durante o desligamento.

Determinou-se que o aprendizado de máquina poderia ajudar o fabricante de aço a atingir seus objetivos. A primeira parte do processo de aprendizado de máquina era classificar os dados em um mapa auto-organizado usando redes neurais para organizar os dados em 10 classes distintas com base em parâmetros do aço, como espessura e peso, conforme ele entrava em cada estágio de fabricação. Outras técnicas incluíram árvores de decisão para aprender o padrão de dados e identificar quais recursos eram importantes nesses padrões. Redes neurais e árvores de decisão são métodos clássicos de aprendizado de máquina. A princípio, podemos entender que os parâmetros dos modelos matemáticos foram ajustados aos dados reais (os modelos de aprendizagem de máquina foram “treinados”). Na sequência, os modelos conseguem prever as características do aço para dados não utilizados no treinamento (validação do modelo). O que se desenvolveu foi um método para lidar com diferentes tipos de produtos de aço

e que era capaz de identificar as principais variáveis associadas aos defeitos de produção.

Segundo Irwin (2020), foi demonstrado que os algoritmos de aprendizagem de máquina podem reduzir a necessidade de análises extensivas de equipamentos e fornecer aos operadores melhores ferramentas e mais *insights* para tomar decisões de manutenção. Uma quantidade significativa de tempo foi gasta para localizar a causa dos problemas e realizar a manutenção. Mas, o novo algoritmo pode ser executado antes do planejamento do desligamento e pode identificar qual suporte priorizar durante os desligamentos por meio da análise dos gráficos de anomalia de ativos. O foco nos equipamentos de maior risco otimiza o desligamento, pois ele é conduzido por um período limitado.

## 5.2 Sensores inteligentes

Os sensores inteligentes são um exemplo de tecnologia adotada por muitas empresas visando melhorar o processos de automação. Eles já fazem parte da I4.0, pois possuem uma alta capacidade de ler dados e controlar informações obtidas em tempo real pelas máquinas. Assim, eles ajudam a ter uma visão mais ampla e geral da linha de produção, ajudando a prever falhas e, conseqüentemente, trazendo mais otimização do tempo, entre outros benefícios (LEPREE, 2019; PEPPERL+FUCHS, 2020).

Um sensor inteligente tem 3 componentes principais: um sensor que captura os dados do ambiente ou equipamento; um microprocessador que calcula a saída do sensor via programação e recursos de comunicação para facilitar a escolher a ação que deve ser tomada (PINTO, 2020).

Dentro da indústria temos alguns exemplos de sensores já utilizados na I4.0, abaixo estão listados 3 fornecedores de sensores inteligentes e como eles são utilizados.

- **Yokogawa:** Dentro da indústria temos alguns tipos de sensores produzidos por essa empresa. Yokogawa é uma empresa de origem japonesa fundada no início do século XIX com a fabricação de medidores elétricos, controladores de fluxo, temperatura e vazão. Atualmente, a empresa Yokogawa Solution Service Corporation engloba 113 empresas e está presente em 60 países (YOKOGAWA, 2020). Nesse trabalho, utiliza-se o exemplo do Yokogawa CA71. Ele é um calibrador que pode gerar e medir simultaneamente sinais de tensão, corrente,

TC (termopar), RTD (detector de temperatura e resistência) e pulso. O mesmo pode ser calibrado facilmente, além disso, o mesmo é compacto e leve. A Figura 9 apresenta um visão geral deste sensor.

Figura 9: Calibrador multifuncional portátil Yokogawa CA71.



FONTE: YOKOGAWA (2020).

- **Pepperl-fuchs:** A Pepperl-Fuchs é uma empresa alemã muito forte no mercado de sensores fotoelétricos que são bastante utilizados na manufatura. Alguns sensores produzidos por esse fabricante realizam facilmente tarefas de detecção em uma variedade de aplicações industriais. Nesse trabalho, cita-se como exemplo o Sensor indutivo Pepperl Fuchs NBB20-U1-Z2, que detecta eventos ou mudanças de forma rápida e fornece uma saída, geralmente um sinal elétrico ou óptico. A Figura 10 apresenta uma foto ilustrativa desse tipo de sensor.

Figura 10: Sensor indutivo Pepperl Fuchs NBB20-U1-Z2.



Fonte: “Pepperl+Fuchs” (2020).

Outro sensor bastante requisitado na indústria e produzido por essa mesma empresa alemã é o sensor WILSEN.sonic.level. Ele é um multisensor, pois transmite dados de nível, dados de GPS, dados de temperatura e dados sobre o *status* da carga de bateria de uma máquina. A Figura 11 apresenta uma imagem ilustrativa.

Figura 11: Sensor WILSEN.sonic.level.



Fonte: “Pepperl+Fuchs” (2020).

- **ABB:** A ABB é o produto de muitas aquisições e fusões, mas principalmente da união, em 1988, da ASEA e da BBC, anteriormente conhecida como Brown Boveri. A ASEA e a BBC são multinacionais bastantes conhecidas da história da engenharia elétrica europeia. Hoje, já existem sedes em mais de 100 países e a ABB é uma empresa líder global em tecnologia ao conectar o *software* ao seu portfólio de eletrificação, robótica, automação e movimento (ABB, 2020). A ABB fornece vários equipamentos com tecnologia de sensores, um deles é o Medidor de fluxo eletromagnético ABB FEP300. Ele oferece uma variedade de eletrodos de revestimento e tamanhos para atender às necessidades até mesmo das aplicações de processo mais exigentes em setores tão diversos como químico, energia, petróleo e gás, papel e celulose e metais e mineração. Tal sensor envia informações de temperatura, vazão, nível, condutividade, entre outros em tempo real.

Figura 12: Medidor de fluxo eletromagnético ABB FEP300.



Fonte: ABB (2020).

### 5.3 Uma aliança para a internet das coisas

Em 2019, a empresa Paessler AG, especialista em monitoramento de rede, e a Sigfox, líder em conectividade para a Internet das Coisas (IoT), anunciaram uma parceria para ajudar seus clientes a monitorar e gerenciar toda sua infraestrutura de TI. Essa parceria foi denominada de *MIOTY Alliance*. Esta Aliança utiliza uma tecnologia (*MIOTY™*) que designa um protocolo (conjunto de regras e convenções padronizadas) e softwares próprio para combater complexidades para desenvolvedores de IoT para a indústria. A *MIOTY™* oferece uma alternativa às limitações das soluções comuns de redes de longa distância de baixa potência (LPWAN) que possuem características particularmente atrativas para o uso industrial (PELÉ, 2020).

Dessa parceria, surgiu o *PRTG Network Monitor* da Paessler que é uma solução integrada para monitoramento de rede, que permite aos integradores de IoT e administradores de sistemas visualizar em tempo real exatamente o que está acontecendo em toda a infraestrutura operacional de TI. A conexão de informações propostas pela Aliança garante a integração dos processos de negócios de uma empresa, bem como a colaboração com parceiros além das fronteiras. A forma ampla como os dados são obtidos permite também uma conexão simples entre todos os sistemas (ONDREY, 2019).

#### **5.4 Siemens e Exyte unem forças para fornecer soluções integradas para a construção rápida de instalações**

A Siemens é uma empresa multinacional se destaca nas áreas em engenharia, inovação, qualidade e confiabilidade por mais de 170 anos. A empresa atua com foco nas áreas de infraestrutura inteligente para edifícios e sistemas de energia distribuída e automação e digitalização nas indústrias de processo e manufatura (SIEMENS, 2020). A Exyte é líder global em *design*, engenharia e fornecimento de instalações para indústrias de alta tecnologia. Com uma história de mais de 100 anos, a empresa desenvolveu uma expertise única em ambientes controlados e regulamentados. A Exyte produz uma série de facilidades para indústrias de alta tecnologia tais como as que produzem semicondutores, baterias, produtos farmacêuticos, biotecnologia dentre outros (EXYTE, 2020).

Em junho de 2020 essas duas potências da tecnologia se juntaram para oferecer soluções completas para a indústria biofarmacêutica, combinando a experiência em digitalização da Siemens com o impulso de inovação da Exyte. Juntas nessa união elas oferecem atualmente soluções prontas e padronizadas para fabricantes de biotecnologia, bem como fabricantes de terapia celular e genética. Na prática, a união das duas empresas permitiu vender fábricas automatizadas (módulos Exycell), sem a necessidade do comprador projetá-las do zero, economizando tempo e recursos financeiros (ONDREY, 2020). Atualmente, os primeiros edifícios com tecnologia da Siemens e módulos ExyCell estão sendo projetados para a fabricação de terapia celular e genética e produção de produtos biológicos na China e na Europa. Espera-se que tais módulos auxiliem na rápida fabricação de vacinas contra o coronavírus da COVID-19 (WILLIAMS, 2020). A Figura 13 ilustra um modelo de instalação biofarmacêutica composta por módulos Exycell pré-configurados e uma fonte de alimentação integrada da Siemens.

Figura 13: Instalação biofarmacêutica composta por módulos Exycell e alimentação integrada da Siemens.



Fonte: Exyte (2020).

### 5.5 Sibur adota tecnologia para a transformação digital

A Sibur, maior empresa maior empresa petroquímica da Rússia, adotou a tecnologia da empresa Brochesia, que é especializada no desenvolvimento de soluções integradas de *software* para dispositivos vestíveis como óculos inteligentes e realidade aumentada. A Sibur visou potencializar seus processos de produção, especialmente serviços de manutenção e suporte por meio de realidade aumentada e assistência remota (BAILEY, 2020A).

A decisão de adotar essa nova tecnologia veio para introduzir a empresa russa à era da I4.0. A ideia veio depois que começou a pandemia que tomou conta do mundo em 2020. A empresa notou a necessidade de se ter óculos inteligentes e de realidade aumentada para evitar maiores danos dentro da manufatura, uma vez todos os trabalhos de consertos regulares requeriam um examinador externo, mas os consultores não podiam vir do exterior por causa da pandemia ou deveriam esperar duas semanas (estando de quarentena) para comparecerem pessoalmente à planta. Devido à tecnologia agora adotada, todos os especialistas do exterior - Sérvia, Itália, Coreia, Bélgica, França - e outras regiões da Rússia podem ser trazidos a bordo remotamente em tempo real. Assim, o especialista local tem contato direto com o especialista remoto. Tudo é controlado por voz, liberando as mãos da pessoa para trabalhar com o equipamento (Figura 14). O especialista simplesmente recebe um *link* para seu e-mail pessoal e inicia uma videoconferência em qualquer navegador (Chrome, Edge, Mozilla, Safari, etc.) em qualquer dispositivo, incluindo tablets e smartphones, mediante

verificação de identidade usando seu número de telefone celular. Eles não precisam instalar nenhum aplicativo especial (MOSTYN, 2020; SERTIN, 2020).

Figura 14: Especialistas em manutenção utilizam óculos de realidade aumentada na empresa Sibur.



Fonte: Sertin (2020).

## 5.6 Henkel investe em aprendizado de máquina

A Henkel AG & Co. KGaA, uma empresa de bens de consumo alemã com mais de 140 anos (HENKEL, 2020a) investiu, em 2020, na tecnologia da startup Fero Labs que tem como seu objetivo otimizar processos industriais usando aprendizado de máquina. O investimento é liderado por uma unidade da empresa, juntamente com DIVC, um investidor com sede em Munique. A Henkel apoiará o Fero Labs no crescimento de sua base de clientes existente e, ao mesmo tempo, alavancará ainda mais o potencial das aplicações da I4.0 em seus próprios locais de produção, bem como no desenvolvimento de negócios conjuntos com clientes e fornecedores (BAILEY, 2020b).

A Fero Labs, sediada na cidade de Nova York e com um segundo escritório em Düsseldorf (FERO LABS, 2020), desenvolveu um pacote de *software* dedicado chamado “Fero”, que fornece aprendizado de máquina para aprimorar os processos de produção e aumentar a eficiência, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade geral da fabricação. A Henkel adotou o “Fero” em projetos piloto em locais de produção selecionados e planeja implementá-lo ainda mais (HENKEL, 2020b).



A implementação do Fero não é do tipo *black box*, pois o *software* mostra claramente como as variáveis de entrada afetam o processo. Além disso, o mesmo plota os intervalos de confiança de todas os modelos de previsão. A *webpage* dos desenvolvedores (FERO LABS, 2020) cita parcerias recentes com as empresa Gerdau, Bosch, Covestro, Evonik e outras.

## 5.7 Basf inova no campo da robótica

A BASF é uma empresa alemã que opera mais de 300 sites de produção em mais de 80 países. Criada em 1865, a mesma atua em 6 segmentos: materiais, soluções para a indústria, tecnologias para a superfície, nutrição, cuidados pessoais e soluções agrícolas (BASF, 2020). Em 2017, a empresa anunciou a construção de seu primeiro Centro de Aplicação Automotiva regional na Ásia-Pacífico, no campus de inovação da empresa em Xangai, China. O investimento custou 33,7 milhões de euros e incluiu um centro de aplicação automotiva - equipado com uma cabine de pulverização de última geração para aplicações eletrostáticas, um laboratório de testes físicos e o robô 3-D. Além disso, tal centro é equipado com laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de catalisadores de processos (EUROPEAN COATING, 2017)

O robô 3-D (Figura 13) feito pela BASF pode simular praticamente qualquer situação em uma linha de pintura em qualquer lugar do mundo, o que permite ao novo centro otimizar processos de aplicação e produtos. Além disso, o robô pode aplicar os revestimentos automotivos não apenas em superfícies horizontais e verticais, mas também em objetos tridimensionais, por exemplo, portas de carros e pára-choques. A unidade de aplicação do robô consiste em um *software* de controle projetado especificamente para a BASF. O robô 3-D ficará alojado em uma grande cabine de pintura de última geração e tem seu próprio forno (ZEINTL; ZUMKLEY, 2019).

Figura 15: Robô utilizado pela Basf para simular movimentos na linha de pintura.



Fonte: European Coating (2017).

## 6 CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma revisão de literatura e, através desta, definiu o fenômeno atualmente chamada de Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial e seu impacto nas indústrias e empresas em geral. Ficou claro que ao longo do tempo houveram várias revoluções industriais em termos de desenvolvimento de máquinas e na maneira de produzir. Mas, a 4ª Revolução Industrial veio não só com o desenvolvimento das máquinas, mas também com a computação.

A Indústria 4.0 tem, dentro de seus principais elementos, a Internet das Coisas, conhecida como (IoT). É através dela que toda a tecnologia da I4.0 é interconectada, gerando dados em tempo real, ajudando empresas a tomar decisões e prever falhas. Com a aplicação da IoT há a geração de grandes bancos de dados (*Big Data*) que precisam ser tratados (*Data Mining*) e compreendidos através de métodos de computação apropriados. O aprendizado de máquina e a inteligência artificial podem ter sucesso para trabalhar com estes dados complexos uma vez que visam simular a capacidade do ser humano de pensar e resolver problemas. Somado a todas estas inovações, atualmente, é possível através de algoritmos cuidadosamente elaborados construir robôs que já são usados na indústria visando a melhoria nos processos dentro da linha de produção e também na preservação da vida humana, substituindo humanos por robôs em locais insalubres.

Através do trabalho apresentado, concluiu-se que a I4.0 e suas tecnologias trazem resultados significativos para a indústria. Foi possível perceber também o quanto o mundo está mudando e que de fato a I4.0 já é uma realidade e que será imprescindível para os engenheiros terem conhecimento de uma forma mais profunda computação, eletrônica e automação. O trabalho também trouxe com alguns exemplos de como grandes empresas usaram a I4.0 para otimizar processos, tais como a Henkel, Siemens, Sibur, Exyte, Basf, Yokogawa e outras. O futuro de toda grande indústria está caminhando para uma linha de produção totalmente tecnológica, o mundo da indústria também está virando um mundo virtual.

## 7 REFERÊNCIAS

ABB. **History of ABB.** Disponível em: <<https://global.abb/group/en/about/history>>. Acesso em: 3 out. 2020.

ACADEMIA IN. **ENTENDA A DIFERENÇA ENTRE BIG DATA E DATA ANALYTICS.** Disponível em: <<https://blog.academiain1.com.br/entenda-a-diferenca-entre-big-data-e-data-analytics/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>

ARORA, R.; PARASHAR, A. Secure User Data in Cloud Computing Using Encryption Algorithms. **International journal of engineering research and applications**, v. 3, n. 4, p. 1922–1926, 2013.

BAILEY, M. P. SIBUR ADOPTS BROCHESIA WEARABLE, AR TECHNOLOGIES FOR DIGITAL TRANSFORMATION. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2020a.

BAILEY, M. P. HENKEL INVESTS IN MACHINE-LEARNING SOFTWARE START-UP FERO LABS. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2020b.

BASF. **No Title.** Disponível em: <<https://www.basf.com/br/pt.html>>. Acesso em: 3 out. 2020.

BEIER, G. et al. Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 259, p. 120856, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856>

BRUGALI, D.; FAYAD, M. E. Distributed computing in robotics and automation. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 18, n. 4, p. 409–420, 2002. <https://doi.org/10.1109/TRA.2002.802937>

CAMILO, C.; SILVA, J. Mineração de Dados: Conceitos, tarefas, métodos e

ferramentas. **Universidade Federal de Goiás (UFG)**, p. 29, 2009. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18032-8\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18032-8_50)

CREMASCO, M. A. **Vale a Pena Estudar Engenharia Química**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

DAIM, T. U.; FAILI, Z. **Industry 4.0 Value Roadmap: Integrating Technology and Market Dynamics for Strategy, Innovation and Operations**. Cham (Switzerland): Springer, 2019.

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **DECON Textos didáticos**, p. 8, 2003.

EUROPEAN COATING. **BASF to build new Automotive Application Center in China**. Disponível em: <<https://www.european-coatings.com/Markets-companies/Coatings-market/BASF-to-build-new-Automotive-Application-Center-in-China#Topofpage>>. Acesso em: 25 set. 2020.

EXYTE. **Exyte**. Disponível em: <<https://www.exyte.net/en>>. Acesso em: 3 out. 2020.

FACULDADE IMPACTA. **O que é a Robótica industrial: entenda tudo sobre a área!** Disponível em: <<https://www.impacta.edu.br/blog/o-que-robotica-industrial-entenda-tudo-sobre/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

FÁVERO, L. P. **KDD e Data Mining: mais do que apenas conceitos**. Disponível em: <<https://itforum365.com.br/colunas/kdd-e-data-mining-mais-do-que-apenas-conceitos/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

FERO LABS. **No Title**. Disponível em: <<https://www.ferolabs.com/company>>. Acesso em: 3 out. 2020.

FINKELSTEIN, J.; NEWMAN, D. Revolution: A Special Challenge to Managers. **Organizational Dynamics**, v. 13, n. 1, p. 53–65, 1984.

GARBIE, I. H. Sustainability optimization in manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 504–509, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.085>

GILCHRIST, A.; GILCHRIST, A. IIoT Reference Architecture. In: **Industry 4.0**. Berkeley: Apress, 2016. p. 65–86.

GOODNIGHT, J. **Artificial Intelligence History**. Disponível em: <[https://www.sas.com/en\\_ca/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html](https://www.sas.com/en_ca/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html)>. Acesso em: 4 out. 2020.

GOOGLE ACADÊMICO. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/>>.

Acesso em: 4 out. 2020.

**GOOGLE LIVROS.** Disponível em: <<https://books.google.com.br/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

GRANRATH, L. Large Scale Optimization Is Needed for Industry 4.0 and Society 5.0. In: FATHI, M.; KHAKIFIROOZ, M.; PARDALOS, P. M. (Eds.). . **Optimization in Large Scale Problems: Industry 4.0 and Society 5.0 Applications**. 1. ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2019. p. 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.085>

HAND, D. J. Principles of data mining. **Drug Safety**, v. 30, n. 7, p. 621–622, 2007. <https://doi.org/10.2165/00002018-200730070-00010>

HENKEL. **No Title**. Disponível em: <<https://www.henkel.com.br/>>. Acesso em: 3 out. 2020a.

HENKEL. **Henkel invests in machine learning software start-up Fero Labs**. Disponível em: <<https://www.henkel.com/press-and-media/press-releases-and-kits/2020-02-04-henkel-invests-in-machine-learning-software-start-up-fero-labs-1028456>>. Acesso em: 25 maio. 2020b.

HOCAOĞLU, M. F.; GENÇ, İ. Smart Combat Simulations in Terms of Industry 4.0. In: **Simulation for Industry 4.0**. Cham (Switzerland): Springer, 2019. p. 247–273. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3_15)

IRWIN, R. **Revolutionizing Reability**. Disponível em: <<https://reliabilityweb.com/articles/entry/predictive-maintenance-and-machine-learning-revolutionizing-reliability>>. Acesso em: 3 out. 2020.

JIAO, S.; LIU, R. P. A survey on physical authentication methods for smart objects in IoT ecosystem. **Internet of Things**, v. 6, p. 100043, jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.02.003>

KUMAR, K.; ZINDANI, D.; DAVIM, J. P. **Industry 4.0 Developments towards the Fourth Industrial Revolution**. [s.l.] Springer, Singapore, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8165-2>

LEPREE, J. SMART SENSORS ENABLE INDUSTRY 4.0. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2019.

LOGIQUE. **Big data analytics: Domine o conceito e aumente a eficiência da sua indústria**. Disponível em: <<https://www.logiquesistemas.com.br/blog/big-data-analytics/>>. Acesso em: 3 out. 2020.

LOH, S. **BI na era do big data para cientistas de dados**. Porto Alegre: [s.n.].

LOH, S. **Volume , velocidade , variedade , veracidade e valor : como os 5 Vs do big data estão impactando as organizações e a sociedade.** [s.l: s.n.].

MOHANTA, B.; NANDA, P.; PATNAIK, S. Management of V.U.C.A. (Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity) Using Machine Learning Techniques in Industry 4.0 Paradigm. In: S. PATNAIK (Ed.). . **New Paradigm of Industry 4.0. Studies in Big Data.** [s.l.] Springer Cham, 2020. p. 1–24. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25778-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25778-1_1)

MOREIRA, L.; MACHADO, J. Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios. n. September 2015, [s.d.].

MOSTYN, T. Sibur to use Brochesia technology for digital transformation. **Hydrocarbon Engineering**, 2020.

NAVYAR, A.; KUMAR, A. **Advances in Science, Technology & Innovation IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development.** Cham (Switzerland): Springer, 2020.

ONDREY, G. AN ALLIANCE FOR THE IIOT. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2019.

ONDREY, G. SIEMENS AND EXYTE JOIN FORCES TO DELIVER INTEGRATED SOLUTIONS FOR FAST-TRACK CONSTRUCTION OF SMART BIOTECH FACILITIES. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2020.

PELÉ, A.-F. **Industry alliance defines platform for massive IoT connectivity.** Disponível em: <<https://www.embedded.com/industry-alliance-defines-platform-for-massive-iot-connectivity/>>. Acesso em: 25 set. 2020.

PEPPERL+FUCHS. **Pepperl+Fuchs.** Disponível em: <<https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/index.htm>>. Acesso em: 4 out. 2020.

PINTO, G. **Como funcionam os sensores inteligentes em soluções de IoT?** Disponível em: <<https://v2com.com/2020/07/02/iot-sensores-inteligentes/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

POGMORE, O. EMBRACE INDUSTRY 4.0 TO IMPROVE RELIABILITY. **Chemical Engineering Essential for CPI Professional**, 2019.

RAJENDRAN, M. **Age of Cobots: Adoption on the fast track among Indian firms.** Disponível em: <<https://www.newindianexpress.com/business/2017/aug/05/age-of-cobots-adoption-on-the-fast-track-among-indian-firms-1638554--1.html>>. Acesso

em: 4 out. 2020.

RUSSOM, P. **BIG DATA ANALYTICS - TDWI BEST PRACTICES REPORT** Introduction to Big Data Analytics. **TDWI best practices report, fourth quarter**, v. 19, n. 4, p. 1–34, 2011.

SANDSTROM, G. Editorial: Insight. **Technology Innovation Management Review**, v. 10, n. 2, p. 3–4, 2020. <https://doi.org/10.22215/timreview/1323>

SANTOS, A. F. C. et al. Big data: A systematic review. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 558, p. 501–506, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54978-1\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54978-1_64)

SCIENCEDIRECT. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 4 out. 2020.

SERTIN, C. **SIBUR & G-Core Labs launch AR service for remote maintenance and repair of industrial equipment**. Disponível em: <<https://www.refiningandpetrochemicalsme.com/petrochemicals/28875-sibur-g-core-labs-launch-ar-service-for-remote-maintenance-and-repair-of-industrial-equipment>>. Acesso em: 3 out. 2020.

SIEMENS. **Sobre o Grupo Siemens no Brasil**. Disponível em: <<https://new.siemens.com/br/pt/empresa/release.html>>. Acesso em: 3 out. 2020.

SILVEIRA, C. B. **Os 6 Principais Tipos de Robôs Industriais**. Disponível em: <<https://www.citissystems.com.br/tipos-de-robos/>>. Acesso em: 3 out. 2020.

SULTANOW, E.; CHIRCU, A. A Review of IoT Technologies, Standards, Tools, Frameworks and Platforms. In: MAHMOOD, Z. (Ed.). . **The Internet of Things in the Industrial Sector**. New York: Springer International Publishing, 2019. p. 326. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5>

TOTVS. **Como é a aplicação da Inteligência Artificial na indústria?** Disponível em: <<https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/como-aplica-o-da-intelig-ncia-artificial-na-ind-stria>>. Acesso em: 3 out. 2020.

TOTVS. **O que muda na robótica aplicada à Indústria 4.0?** Disponível em: <<https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/o-que-muda-na-rob-tica-aplicada-ind-stria-40>>. Acesso em: 4 out. 2020.

WILLIAMS, A. **Siemens and Exyte join forces to deliver integrated solutions for fast-track construction of smart biotech facilities**. Disponível em: <[https://www.exyte.net/en/Siemens and Exyte join forces to deliver integrated solutions for fast-track construction of smart biotech facilities](https://www.exyte.net/en/Siemens%20and%20Exyte%20join%20forces%20to%20deliver%20integrated%20solutions%20for%20fast-track%20construction%20of%20smart%20biotech%20facilities)>. Acesso em: 25 set. 2020.



WIRTH, R. CRISP-DM : Towards a Standard Process Model for Data Mining. In: Proceedings of the Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining, 29-39, 2000.

YOKOGAWA. **Visão Geral da Empresa.** Disponível em: <<https://www.yokogawa.com.br/sobre-yokogawa/visao-geral-da-empresa>>. Acesso em: 3 out. 2020.

ZEINTL, C.; ZUMKLEY, J. **BASF expands innovation scope in Asia Pacific with new facilities and new solutions.** Disponível em: <<https://www.basf.com/dz/fr/live/News/2019/03/p-19-162.html>>. Acesso em: 25 maio. 2020.