



Indústria 4.0: Oportunidades para a Indústria Química Brasileira

Julianne Cisneiros Perissé

Monografia em Engenharia Química

Orientador

José Eduardo Pessoa de Andrade,

M.Sc.

Agosto de 2018

INDÚSTRIA 4.0: OPORTUNIDADES PARA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA

Julianne Cisneiros Perissé

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

José Vítor Bomtempo Martins, D.Sc.

Gabriel Marino Daudt, M.Sc.

Orientado por:

José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2018

Perissé, Julianne Cisneiros.

Indústria 4.0: oportunidades para indústria química brasileira. / Julianne Cisneiros Perissé. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

xii, 102 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientador: José Eduardo Pessoa de Andrade

1. Indústria 4.0. 2. Indústria Química. 3. Inovação. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

Às mudanças, que são inevitáveis, e a todos aqueles que escolhem continuar presentes apesar delas.

"That's the wonderful and terrible thing about technology. It changes everything."

- PARADIGM SHIFT. **The Expanse**, cap. 16. Toronto, Canadá: Syfy, 1 de março de 2017. Programa de TV.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Juarez e Maísa, que sempre me estimularam a querer ir mais longe e me deram o apoio necessário para conseguir.

Aos melhores companheiros de jornada e amigos que a vida poderia me dar, Talitha e Pedro, que compartilham comigo todos os sonhos, vitórias, derrotas e dias comuns.

A toda a minha família, de sangue ou não, que veste a camisa, compra a briga e joga junto, independentemente da situação.

Ao Centro Espírita Humildade e Amor, por ser casa, refúgio e escola.

Ao professor José Eduardo, que embarcou comigo nesse desafio, sendo orientador, parceiro e amigo durante toda essa jornada.

A professora Andrea Valdman, por ter me apresentado a uma Universidade que eu tenho orgulho de fazer parte. E a todas as pessoas com as quais convivi durante os anos de trabalho no LADEQ, que fizeram daquele laboratório, o meu lar, no Fundão.

A todos os amigos que alegraram os meus dias na Universidade. E a todos aqueles, que alegraram os dias fora dela.

A AI/DEBK, pelo aprendizado diário, e todo o carinho ao longo dos dois anos de convívio.

E, finalmente, a Vida, por todas as pessoas incríveis que cruzaram meu caminho, por sempre abrir as portas certas e não deixar pontas soltas.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

INDÚSTRIA 4.0: OPORTUNIDADES PARA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA

Julianne Cisneiros Perissé

Agosto, 2018

Orientador: Prof. José Eduardo Pessoa de Andrade, M.Sc.

A indústria mundial tem passado por mudanças graduais desde seu surgimento, porém, quando ocorre uma alteração massiva na tecnologia, impactando em mudanças nas organizações, na mão de obra e na população, pode-se afirmar que é chegada uma nova revolução industrial. A indústria química contribui direta ou indiretamente para quase toda a indústria manufatureira, e conta com a presença de sistemas digitais, processos controlados e autônomos, há mais de 50 anos. Dessa forma, torna-se importante entender os possíveis impactos de uma nova revolução industrial na indústria química, e especialmente, na brasileira. O Brasil apresenta grande potencial de crescimento do mercado interno e um grande número de micros, pequenas e médias empresas, cujo aumento da produtividade e da competitividade pode atender a esse mercado interno. Durante a revisão das iniciativas dos internacionais, foi possível identificar a repetição de temas como: políticas de desenvolvimento para pequenas e médias empresas; a criação de centros de pesquisa e inovação; a parceria entre as empresas, o governo e a academia; o incentivo à criação de *startups* e propostas de qualificação da mão de obra. A proposta da Indústria 4.0 tem o potencial para criar uma economia global conectada com uma grande variedade de nichos de mercado. Essa nova estrutura possibilitaria uma participação mais ativa de pequenas e médias empresas, e uma melhor distribuição dos mercados entre os países

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | x |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS | xii |
| Capítulo I - Introdução | 1 |
| I.1 - Metodologia | 2 |
| Capítulo II. - A expectativa de uma quarta revolução industrial | 5 |
| II.1 - Impulsionadores | 7 |
| II.2 - Consequências | 18 |
| Capítulo III - A Indústria Química | 35 |
| III.1 - Caracterização dos segmentos | 35 |
| III.2 - O Mercado | 45 |
| Capítulo IV. - Análise dos segmentos | 52 |
| IV.1 - As Tendências da Indústria Química 4.0 | 52 |
| IV.2 - Oportunidades para a Indústria Química por segmento | 56 |
| IV.3 - Potencialidades da Indústria Química Brasileira | 62 |
| Capítulo V. - Estratégias Globais | 64 |
| V.1 - Alemanha | 64 |
| V.2 - Estados Unidos | 67 |

| | |
|--|-----|
| V.3 - China | 69 |
| V.4 - Coréia do Sul | 73 |
| V.5 - Japão | 77 |
| V.6 - Brasil | 83 |
| V.7 - Reflexão sobre as estratégias mundiais | 85 |
| Capítulo VI. - Conclusão | 89 |
| Referências Bibliográficas | 92 |
| Anexo A1 - Divisões 20 e 21 da CNAE 2.0 | 100 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura II.1 – As Quatro Revoluções Industriais | 6 |
| Figura II.2 – Definições da Economia Circular | 17 |
| Figura II.3 – Integração Horizontal da Cadeia de Valor | 19 |
| Figura II.4 – Perspectiva macro do processo produtivo da Indústria 4.0 | 21 |
| Figura IV.1 – Impacto das tecnologias habilitadoras na cadeia de valor da indústria química | 53 |
| Figura V.1 – Linha do tempo do desenvolvimento da Indústria 4.0 na China | 70 |
| Figura V.2 – Distribuição dos Centros de Inovação pela Coreia do Sul | 76 |
| Figura V.3 – Evolução da Sociedade | 81 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico III.1 – Exportação Mundial por Segmento em 2016 | 45 |
| Gráfico III.2 – Vendas líquidas da indústria química por país em 2016 | 47 |
| Gráfico III.3 – Importações da Indústria Química por país ou macrorregião em 2015 | 48 |
| Gráfico III.4 – Vendas da Indústria Química por setor em 2016: Comparativo entre as indústrias químicas europeia, americana e japonesa | 49 |
| Gráfico III.5 – Contribuição de cada setor na Indústria de Transformação Brasileira em 2015 (% sobre o PIB Industrial) | 50 |
| Gráfico III.6 - Vendas da Indústria Química Brasileira por setor em 2016 | 51 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro II.1- Competências exigidas pela nova revolução industrial | 27 |
| Quadro IV.1 – Atividades chaves na Indústria Química 4.0 | 55 |
| Quadro V.1 – Principais Iniciativas Chinesas | 71 |
| Quadro V.2 – Principais Iniciativas da Coreia do Sul | 74 |
| Quadro V.3 – Principais Iniciativas do Japão | 78 |
| Quadro V.4 – Iniciativas brasileiras de reflexão acerca da Indústria 4.0 | 84 |
| Quadro V.5 – Análise das similaridades entre as iniciativas internacionais estudadas | 87 |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química

ACC – Conselho de Química Americano

AMNPO – Advanced Manufacturing National Program Office

AMP - Parceria de Manufatura Avançada

BCG – Boston Consulting Group

BMW_i – Ministério da Economia e Tecnologia da Alemanha (Alemanha)

CEFIC – Conselho da Indústria Química Européia

CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CSAA - Aliança de Ciência e Tecnologia de Automação Chinesa

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial

IOTAC - Consórcio de Aceleração de Internet das coisas

IVI - Iniciativa da Cadeia de Valor Industrial

JCIA – Associação da Indústria Química Japonesa

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (Brasil)

METI - Ministério da Economia, Comércio e Indústria (Japão)

NIST – National Institute of Standards and Technology

NNMI – National Network for Manufacturing Innovation

ONU – Organização das Nações Unidas

PCAST – President’s Council of Advisors on Science and Technology

RRI - Iniciativa de revolução robótica

SENAI SP – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

WEF – Fórum Econômico Mundial

WTO – Organização Mundial do Comércio

I. Introdução

Na última década, surgiu a expectativa de uma nova revolução industrial motivada pela evolução das tecnologias digitais e pela mudança das exigências do mercado. Resultado de uma reorganização da cadeia de valor, através da aplicação de um conjunto de inovações tecnológicas, esta “4ª revolução industrial” impactaria, ao mesmo tempo, a vida social e organizacional, resultando em transformações culturais na indústria e na economia como um todo.

Em 2011, durante a Hannover Fair, o governo alemão apresenta uma estratégia industrial compilando diversas tecnologias digitais em um plano para manter a sua posição de liderança na manufatura, denominando-a “Indústria 4.0”. Propondo o aumento da eficiência, da flexibilidade e da qualidade da produção, a Indústria 4.0 passou a ser considerada uma oportunidade para o aumento da competitividade e crescimento industrial, resultando no surgimento de projetos similares em diversos países.

Impulsionada pela pulverização de iniciativas seguindo o tema da Indústria 4.0 pelo mundo, a 4ª revolução industrial deixa de ser considerada apenas uma possibilidade para se tornar uma realidade. Klaus Schwab, fundador e presidente executivo do Fórum Econômico Mundial, afirma em seu livro, *A Quarta Revolução Industrial* (2016), que esse novo momento da indústria não só se configura como uma revolução industrial, como será a mais veloz e com impactos mais amplos e profundos, transformando não só a produção, mas toda a estrutura industrial e a sociedade.

Contudo, a indústria não pode ser tratada de forma única. É necessário conhecer as características distintas de cada setor industrial para compreender quais as oportunidades que propostas como a digitalização, automação e a interação entre os espaços físicos e digitais, podem oferecer a esses setores. A mesma lógica pode ser utilizada para cada país, que apresenta competências, deficiências e interesses particulares.

A indústria química contribui direta ou indiretamente para quase toda a indústria manufatureira e conta com a presença de sistemas digitais, processos controlados e autônomos, há mais de 50 anos. Essas características a destacam como um setor estratégico para a Indústria 4.0, ao mesmo tempo que limitam os seus possíveis impactos.

Assim, o objetivo deste trabalho é identificar as consequências das novas tecnologias destacadas na indústria química, e, mais especificamente, na indústria química brasileira. O trabalho conta com cinco capítulos, além desta introdução. O segundo capítulo foi dedicado à compreensão do significado desse conjunto de mudanças da Indústria 4.0, ao entendimento dos novos conceitos que foram introduzidos, principalmente o de tecnologias habilitadoras, além de uma análise sobre os impactos associados a essas mudanças. O terceiro, refere-se à indústria química, seus segmentos e mercados, tanto no mundo como no Brasil. Enquanto o quarto capítulo apresenta uma reflexão sobre o potencial da incorporação dos conceitos da Indústria 4.0, na indústria química.

Não se pode prescindir do estudo e da compreensão dos conhecimentos gerados e das experiências vivenciadas pelos países mais avançados do mundo. Portanto, no quinto capítulo foram analisadas as estratégias globais e experiências que mais se destacam no avanço da Indústria 4.0: Alemanha, Estados Unidos, China, Coreia do Sul e Japão. Acrescentou-se, ainda, o estudo das iniciativas vivenciadas no Brasil.

A combinação dos assuntos estudados permitiu uma reflexão sobre a Indústria 4.0 e as consequentes oportunidades para a indústria brasileira, que estão contidas na Conclusão deste trabalho.

I.1 Metodologia

Segundo Gil (1991), a metodologia de pesquisa pode ser classificada em duas categorias, a primeira é definida pelo objetivo do trabalho e a segunda, pelos meios utilizados. O presente trabalho consiste numa pesquisa exploratória, quanto ao objetivo, e bibliográfica, quanto ao meio.

Uma pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o tema visando torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses. Já uma pesquisa bibliográfica é desenvolvida baseada em materiais já elaborados, como livros e artigos científicos.

O presente trabalho efetuou-se em cinco etapas: definição do objetivo; a consolidação do conceito da Indústria 4.0; compreensão da indústria química; conhecimento das estratégias de implantação da “Indústria 4.0” nos principais países; identificação de oportunidades para a indústria química brasileira.

A relevância e atualidade do tema “Indústria 4.0” nos principais espaços de discussão nas esferas empresarial, acadêmica e governamental motivaram a realização deste trabalho de pesquisa. Dada a abrangência e complexidade dos setores da indústria e da sociedade que estavam sendo impactados, tornou-se fundamental, para a obtenção de resultados mais palpáveis, a definição de uma prioridade e foco de atenção para a análise.

Seria, portanto, necessário obter uma compreensão sobre: a “Indústria 4.0”; a indústria química global e brasileira, tendo em vista a sua conexão com o curso de engenharia química; as experiências nos principais países e no Brasil; uma reflexão com base no conhecimento adquirido que pudesse permitir destacar oportunidades para a indústria química brasileira.

Para o estudo acerca da “Indústria 4.0”, nesse caso já incorporando a ocorrência de uma possível 4ª Revolução Industrial foi realizado um amplo trabalho de pesquisa

bibliográfica, com a seleção de publicações e artigos que tratassem do tema, tanto na esfera global como nacional, seja de autores com dimensão acadêmica, de consultorias que estavam produzindo os primeiros trabalhos para a compreensão desse assunto, de instituições e entidades privadas e empresariais, públicas e governamentais, além de revistas gerais e especializadas na indústria química, ou seja, na cobertura da imprensa em geral.

A indústria química dada a sua extensão e diversidade, exigiu uma ampla pesquisa bibliográfica para sua caracterização que permitisse o registro dos efeitos e potenciais relacionados à “Indústria 4.0”. Foram consultadas publicações das principais associações empresariais da indústria química mundial e do Brasil, e de instituições oficiais que permitissem organizar os principais setores da indústria química e sua taxonomia.

O entendimento de que o processo da “Indústria 4.0” ou da 4ª Revolução Industrial estava em sua fase inicial, e diferenciado segundo as condições diversificadas de cada país levou à pesquisa bibliográfica de publicações que abordassem essas experiências com ênfase em textos de institutos oficiais e de consultorias internacionais. Para o Brasil, foram analisadas publicações de entidades privadas empresariais e de órgãos públicos governamentais.

Após o amplo trabalho de pesquisa sobre os itens anteriores, iniciou-se um processo de reflexão sobre o aprendizado obtido, e sobre as características específicas do Brasil e de sua indústria química, que facilitasse a organização de ideias que pudessem colaborar para a elaboração de oportunidades específicas da “Indústria 4.0”, no contexto de nosso país e da indústria química.

II. A expectativa de uma quarta revolução industrial

A indústria mundial tem passado por mudanças graduais desde seu surgimento, porém quando ocorre uma alteração massiva na tecnologia, impactando em mudanças nas organizações, mão de obra e na população, podemos afirmar que é chegada uma nova revolução industrial. Adotaremos nesse texto, o conceito amplamente difundido de revolução industrial e seu simbolismo de transformação do mundo em que vivemos.

Por outro lado, há quem prefira utilizar o termo revolução tecnológica para caracterizar essa alteração massiva e as mudanças a ela associadas¹. Não é objetivo deste trabalho aprofundar o debate sobre as diferenças de interpretação das diferentes correntes que estudam a história do desenvolvimento industrial.

O presente trabalho objetiva, sim, utilizar as melhores interpretações disponíveis para entender as transformações industriais e tecnológicas que estão em curso no mundo, nessa 2ª década do século XXI, e procurar evitar a adoção precipitada de conceitos e conteúdos que possam induzir a equívocos sobre as tendências da indústria do futuro.

O marco inicial dessas novas transformações parece ter ocorrido em 2011, com o lançamento, nos Estados Unidos, de sua primeira política para revitalizar a indústria, o “*Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*”², que inclui as diretrizes da indústria do futuro.

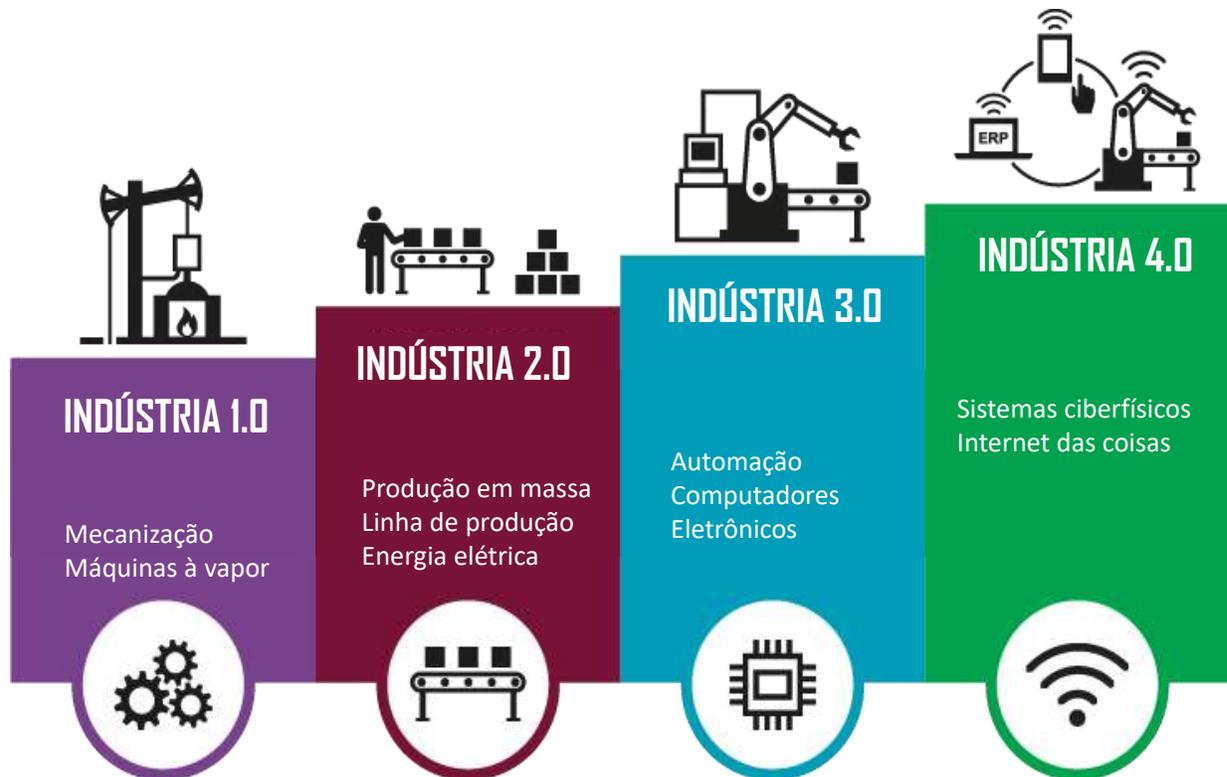
Desde a denominada primeira revolução industrial, com eixo nas transformações da indústria têxtil, na mecanização e na máquina a vapor, no século XVIII na Inglaterra,

¹ Essa corrente pode ser representada pelos trabalhos de Carlota Perez, pesquisadora honorária do SPRU – Science and Technology Policy Research, University of Sussex, do Reino Unido e em particular os conceitos expostos em seu livro de 2002, *Technological Revolutions and Financial Capital*.

² Proposta realizada pelo *President’s Council of Advisors on Science and Technology* (PCAST) num relatório para o presidente dos Estados Unidos em junho de 2011.

a indústria mundial já passou por duas outras revoluções, nos séculos XIX e XX, movidas pelo desenvolvimento, na 2ª, da indústria básica pesada, dos produtos de consumo durável e do uso da eletricidade em seus processos produtivos enquanto na 3ª dos produtos fortemente apoiados na eletrônica.

Figura II.1 – As Quatro Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de BCG, 2015

A expectativa de uma quarta revolução, já em curso, que traria flexibilidade e aumentaria a produtividade, velocidade e qualidade da produção tem crescido mundialmente. Os termos “Indústria 4.0” e “manufatura avançada” vêm ganhando espaço, sendo largamente utilizados para indicar uma nova era na indústria, cujo fio condutor seria a internet.

O termo 4ª Revolução Industrial alcançou uma ampla divulgação fora da área acadêmica, principalmente pela popularização na área empresarial e no público em geral,

com o lançamento do livro *“The Fourth Industrial Revolution”*³, em 2016, escrito por Klaus Schwab, fundador e Presidente Executivo do Fórum Econômico Mundial, e editado por esse mesmo fórum.

Caracterizada por uma maior incorporação da internet ao processo industrial, em toda sua cadeia de agregação de valor, a nova revolução industrial contaria com a integração entre as tecnologias disponíveis, e as máquinas e equipamentos, já tradicionais na indústria. Alguns dos recursos fundamentais seriam a utilização de sistemas ciberfísicos, ou seja, uma representação virtual das unidades produtivas, e o compartilhamento de dados em tempo real, inclusive entre diferentes máquinas da unidade produtiva.

Prometendo processos mais eficientes, flexíveis e rápidos, a quarta revolução se apoiaria na incorporação dos novos conhecimentos disponíveis nas áreas de tecnologia da informação, nanotecnologia, biotecnologia, materiais e robótica, para apresentar soluções aos desafios atuais da indústria, como os provenientes da fragmentação da demanda.

II.1 Impulsionadores

A perspectiva de uma quarta revolução industrial surge como resposta às exigências atuais do mercado, se utilizando do desenvolvimento de novas tecnologias.

Diversificação da demanda, aumento da preocupação com processos e produtos sustentáveis, e crescimento do mercado de serviços são alguns dos desafios encontrados na indústria, enquanto a evolução de áreas como a tecnologia de informação, materiais e automação se apresentam como oportunidades de crescimento e possíveis soluções para os desafios atuais da indústria.

³ “A Quarta Revolução Industrial” traduzido por Daniel Moreira Miranda

Essa combinação de desafios e oportunidades é responsável por impulsionar a quarta revolução industrial.

II.1.1 Mercado fragmentado

Fragmentação do mercado é o termo usado para descrever a diversificação do mercado. Um mercado passa a ser considerado fragmentado, quando surgem diferentes segmentos dentro dele, cada um com perfil e lógica próprios, refletindo diferentes necessidades dos consumidores (WIND; BELL, 2007).

O desenvolvimento atual tem contribuído para a fragmentação de diversos mercados, trazendo especificações distintas ao anteriormente predominante mercado homogêneo, principalmente nos bens de consumo final. Um conjunto expressivo de consumidores diversos passou a valorizar um portfólio variado de produtos com padrões específicos e distintos, que resulta, então, numa demanda fragmentada.

Para atender a essa demanda fragmentada se torna necessário uma produção em escala e escopo flexíveis, personalizáveis, com maior eficiência no uso de insumos e recursos e com compartilhamento de informações, em tempo real.

A produção em massa, pelos fundamentos de sua concepção, não se mostra uma estratégia capaz de atender a um mercado fragmentado. Assim, a implementação de escala e escopo flexíveis e personalizáveis se apresenta como a solução por permitir a adaptação da mesma linha de produção para atender consumidores distintos.

Ao trabalhar com produtos com especificações diferentes se faz necessário controlar o processo, a fim de se garantir que todas as condições determinadas de cada produto sejam atendidas. Uma maneira eficiente de garantir essas condições é o compartilhamento de informações em tempo real, possibilitando que ajustes sejam realizados ao longo do processo, evitando assim o descarte desnecessário de material.

II.1.2 Tecnologia habilitadora

Tecnologia habilitadora é o termo utilizado na literatura para caracterizar tecnologias que permitem o surgimento de novos processos, produtos e serviços. De acordo com o Instituto Australiano de Comercialização, uma organização sem fins lucrativos que em parceria com o governo e o setor privado desenvolve projetos para ampliar a comercialização dos investimentos nacionais em pesquisa, no estudo “*Enabling technology futures: a survey of the Australian technology landscape*”, realizado para o Departamento de Indústria, Inovação, Ciência, Pesquisa e Ensino Superior do Governo Australiano, em 2012, uma tecnologia pode ser definida como habilitadora quando:

- Apresentar alta interdisciplinaridade;
- For transformadora por natureza e tiver potencial de criar ou descontinuar indústrias inteiras;
- Tiver potencial para impactos sociais e políticos significativos, sistemáticos e duradouros;
- Introduzir novas possibilidades e mercados;
- Criar novas oportunidades para resolver problemas globais;
- Tiver potencial para desenvolver novas habilidades que atendam a problemas atuais.

De acordo com Rüßmann *et al.* (2015), existem nove tecnologias habilitadoras transformando a produção industrial. Elas são simulação, integração vertical e horizontal de sistemas, a internet das coisas (IoT), cibersegurança, a nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada, “*big data*” e robôs autônomos.

II.1.2.1 Simulação

Atualmente, simulações 3-D de produtos e materiais já estão presentes nas etapas de pesquisa e desenvolvimento, assim como a simulação de processos de produção, na fase de projeto de engenharia. Com o avanço dos simuladores existe a possibilidade da simulação ser utilizada também na operação da planta, criando os chamados espaços ciberfísicos.

Essas simulações utilizariam informações em tempo real para construir um modelo virtual da estrutura física incluindo as máquinas, produtos e operadores. Esse espaço virtual permitiria a realização de testes para a otimização da produção sem interferir no espaço físico, evitando interrupções na produção, desligamentos excessivos de equipamento, além de aumentar a qualidade do produto.

II.1.2.2 Integração vertical e horizontal de sistemas

A maior parte dos sistemas de tecnologia da informação não estão completamente integrados, assim, a interação entre produtores, fornecedores e consumidores fica prejudicada. Até mesmo dentro de uma indústria não existe uma integração completa entre seus departamentos. O chão de fábrica e o departamento de PD&I têm dificuldade de se comunicar com fluidez e interagem menos ainda com o setor comercial e de serviços. É possível perceber essa falta de integração até em um mesmo departamento, bem como entre o sistema de automação, os produtos e os equipamentos.

A integração vertical, conectando todas as etapas do processo de produção, permitiria o fluxo de dados entre os sistemas do chão de fábrica, sensores e atuadores, até a área gerencial. O compartilhamento de dados entre todos esses níveis pode ser alcançado com o uso das tecnologias de internet das coisas, nuvem e “*big data*”.

A capacidade analítica preditiva da empresa cresce com a integração dos sistemas presentes em cada nível da produção. Sensores, atuadores, controladores e as atividades de monitoramento, manutenção, além da gestão financeira e comercial, quando integrados, facilitam a análise de produtividade, proposta de mudanças e ainda

garantem agilidade para redesenhar e implementar ações corretivas entre demandas e entregas.

A integração horizontal conecta todos os elos da cadeia de suprimento e de valor, não se restringindo apenas ao ambiente dentro da indústria. Ela é responsável pelo compartilhamento de dados dentro dos diversos setores internos da indústria, PD&I, chão de fábrica, comercial e serviços, por exemplo, e fora da indústria, como seus fornecedores de matéria-prima e de insumos, distribuidores, prestadores de serviço e clientes. Essa tecnologia habilitadora facilita o atendimento às demandas dos fornecedores e clientes.

A integração dos sistemas, vertical e horizontal, vai possibilitar o compartilhamento de informação entre empresas e departamentos, promovendo uma rede de dados integrados, capaz de evoluir e permitir o surgimento de cadeias de valor verdadeiramente automatizadas.

II.1.2.3 Internet das coisas⁴

O termo internet das coisas, criado por Kevin Ashton em 1999⁵, é usado para descrever um sistema de comunicação entre computadores e o mundo material, através de sensores que estariam presentes em todos os espaços. Uma década depois, em 2009, quando o número de dispositivos conectados à internet superou o número de habitantes, a internet das coisas passou a ser uma realidade.

Com a internet das coisas, todo sensor é capaz de transmitir os dados coletados a uma única plataforma, que permite a seleção e análise de dados relevantes, além de armazenar as informações, construindo uma base de dados histórica completa. Essa

⁴ Popularizada por sua expressão em língua inglesa pela referência “*IOT – Internet of things*”.

⁵ Kevin Ashton é pesquisador no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e explicou a origem do termo em uma entrevista para a 18ª edição da revista *Inovação da Pauta*, publicada pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)

plataforma possibilita também que outros sensores acessem o conteúdo dessa informação e produzam respostas adequadas com os dados coletados.

Assim, as três principais características da internet das coisas são a onipresença, a possibilidade de interação entre os objetos e a otimização. O uso de sensores e a combinação de diferentes sensores num único dispositivo já ocorre em quase todos os setores e até mesmo é utilizado pelo público em geral. Muitos aparelhos celulares, atualmente, são equipados com sensores para determinar localização, luminosidade, posição, temperatura, digitais e sons. Essa possibilidade de aplicação em diferentes equipamentos e em segmentos distintos, garante a onipresença.

Com a ampliação da presença de sensores, o volume de dados que pode ser coletado, armazenado e compartilhado cresce exponencialmente. Associando as informações coletadas com a conexão dos dispositivos à internet, o compartilhamento de dados e a interação entre equipamentos se torna possível. Assim, o usuário não precisaria atuar como intermediário entre os dispositivos, transferindo informações ou comandos.

O aumento das utilidades de um dispositivo e a facilidade de acesso a informação, tornam mais rápida a resolução de problemas. A comunicação entre os dispositivos, permite a coleta e troca de informações, possibilitando o envio de comandos e a resposta imediata a eles. Essa rapidez na resposta contribui para o aumento da eficiência, permitindo a otimização dos processos.

A presença da internet das coisas na indústria facilitaria a descentralização dos processos de análise de dados e a tomada de decisão possibilitando respostas em tempo real através da comunicação entre os sensores presentes nos produtos e nos equipamentos.

Essa funcionalidade da internet das coisas depende, porém, da disponibilidade de uma infraestrutura de rede de comunicação capaz de interligar a quantidade de informações processadas.

II.1.2.4 Nuvem

A nuvem é o nome dado à rede física de computadores usada para o armazenamento e processamento de dados e sua conexão virtual a computadores pertencentes a milhões de usuários espalhados em todo o mundo. Essa rede global mantida por diversos servidores e centros de processamentos conectados, com uma escala gigantesca de capacidade de armazenamento de dados, permite que a informação seja acessada de diversos dispositivos utilizando apenas a internet.

II.1.2.5 “Big Data”

O crescimento do fluxo de informação gerada e coletada diariamente, tem tornado os métodos tradicionais de processamento e análise insuficientes. Assim, a tecnologia de análise baseada em conjuntos grandes e variados de dados surgiu recentemente na indústria.

Capaz de classificar as informações de acordo com a relevância, a tecnologia de análise de “*big data*”, que utiliza diversos algoritmos para esse processamento, possibilita a administração eficiente e rápida dos dados, podendo se tornar uma ferramenta essencial para auxiliar o processo de tomada de decisão em tempo real.

A coleta e avaliação abrangente dos dados recebidos por diferentes fontes da indústria, como equipamentos e sistemas de produção, além de sistemas de gestão de clientes permite otimizar a qualidade da produção e funcionamento de equipamentos, enquanto economiza tempo e energia.

II.1.2.6 Cibersegurança

Com o aumento do volume de informações compartilhadas e disponíveis em sistemas “*online*” surge uma maior preocupação com a segurança dessas informações. Por isso, se faz necessário sistemas que possibilitem uma rede de comunicação segura e confiável.

A cibersegurança envolve desde a proteção da rede física (“*hardware*”) quanto a proteção contra ameaças virtuais e mal-uso dos sistemas pelos operadores. Buscando assim, evitar acessos ao sistema e a divulgação de informações não autorizados pelo usuário.

II.1.2.7 Manufatura aditiva

O processo de fabricação tradicional conta com dois métodos para dar forma a um objeto sólido: a subtração de matéria, como nos processos de usinagem ou através da aplicação de pressão. O primeiro método ficou conhecido como "*manufatura subtrativa*", assim, o termo "*manufatura aditiva*" é utilizado para descrever o método de produção que consiste na adição de material. A tecnologia de manufatura aditiva está presente nas impressoras 3D.

A manufatura aditiva conta com diversos processos, todos baseados na construção através de camadas, o que os tornam relativamente mais lentos, porém, gerando menos resíduos. Muitas empresas já adotaram essa tecnologia no processo de produção de protótipos e componentes individuais.

A principal vantagem desse procedimento é que ele possibilita a produção em pequenas escalas e facilita a customização dos produtos. A expectativa é que sistemas de manufatura aditiva de alta performance permitam a descentralização, reduzindo assim distâncias, e conseqüentemente custos de transporte e a necessidade (ou a diminuição ou até a eliminação da necessidade) de estoques.

II.1.2.8 Realidade aumentada

Realidade aumentada é a tecnologia que permite a alteração da percepção do mundo físico através da construção de uma imagem virtual direta ou indireta de um ambiente físico real através de dados gerados por um computador ou obtidos por sensores.

Sistemas baseados na tecnologia de realidade aumentada, como os sistemas ciberfísicos, podem ser utilizados para treinamento de operadores, simulação de processos, ajuste de parâmetros e instruções de manutenção de equipamentos.

Os dados em tempo real gerados por esses sistemas facilitariam o processo de decisão e operação da indústria.

II.1.2.9 Robôs autônomos

Os robôs têm sido largamente usados para realizar tarefas complexas, mas a robótica vem evoluindo para possuir uma utilidade ainda maior. Eventualmente, eles serão capazes de interagir entre si e aprender a trabalhar com segurança com as pessoas. A tendência é que esses robôs custem menos do que os modelos atuais e terão mais utilidade.

A interação entre os robôs possibilitará o ajuste automático de suas ações para atender cada produto em produção. Com unidades de controle e sistemas mais avançados a interação entre humanos e robôs no processo de produção será mais segura, possibilitando o uso das tecnologias de inteligência artificial e armazenamento de dados para possibilitar que os robôs aprendam através da observação e experiência. A ideia do desenvolvimento da inteligência artificial, onde os robôs sejam capazes de auto aprendizado, já integra linhas de investigação em vários institutos de pesquisa.

II.1.3 Sustentabilidade

Em 2015, a ONU, Organização das Nações Unidas, divulgou uma coleção com 17 objetivos de desenvolvimento sustentável, integrados e indivisíveis, que equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental, e compõe a agenda da ONU para 2030⁶. Essa proposta apoiada por 191 países traz como

⁶ O documento chamado “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” conta com uma plataforma de ação para a implementação dessas medidas no Brasil, ver: Disponível em: www.agenda2030.com.br

algumas de suas metas, uma industrialização sustentável com incentivo à inovação, distribuição e gerenciamento de energia limpa e da água.

Essa crescente preocupação com sustentabilidade, redução de resíduos, pegada ambiental e racionamento de recursos, tem transformado a busca por processos mais eficientes no uso de insumos numa tendência mundial.

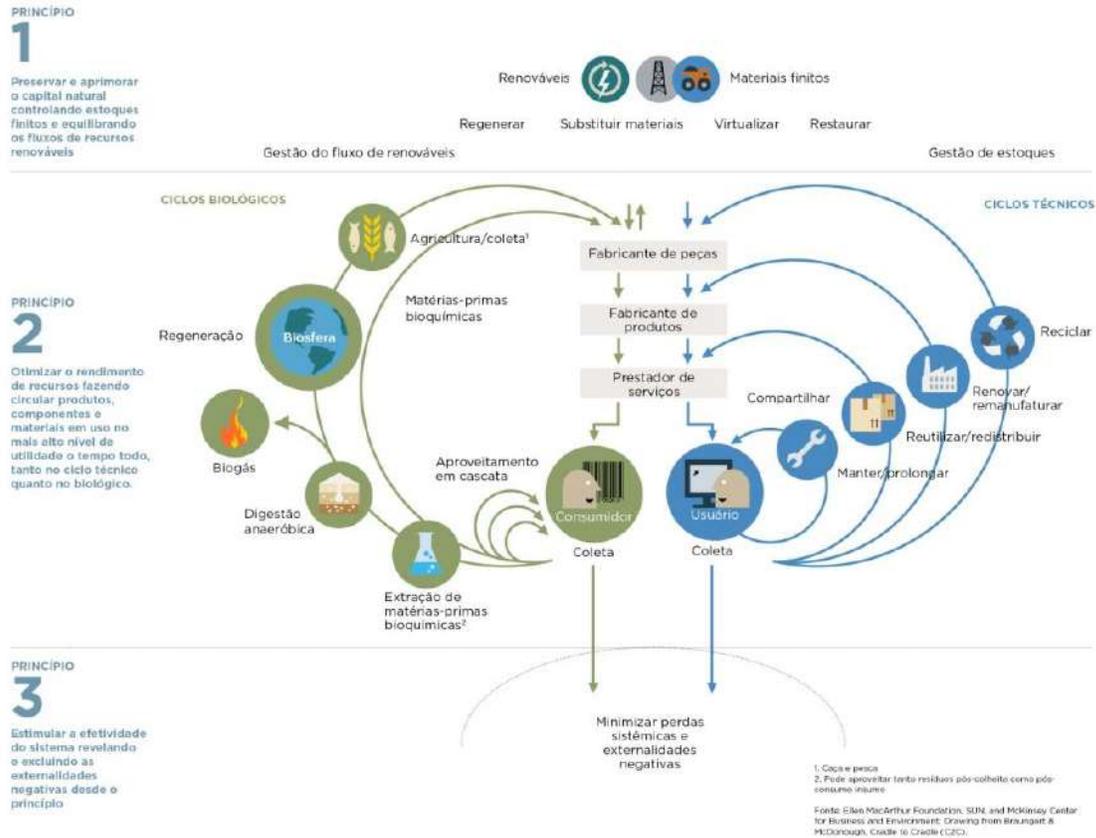
De acordo com Porter e Van der Linde (1995), a eficiência e efetividade com as quais as indústrias e seus consumidores utilizam seus recursos são os principais responsáveis pela redução de custos e do impacto ambiental.

Seguindo esse movimento, novos modelos econômicos vêm ganhando forças, especialmente o modelo de economia circular, que consiste em um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo administrando fluxos renováveis e estoques finitos de matéria-prima.

A economia circular se baseia em 3 princípios: a preservação do capital natural, a otimização do rendimento de recursos e o aumento da efetividade do sistema. Para alcançar cada um deles, ela se baseia na gestão de fluxos de materiais, recursos renováveis e estoques. A reutilização, regeneração, restauração e reciclagem são algumas das estratégias utilizadas para equilibrar o consumo de recursos e minimizar os descartes.

Buscando facilitar a compreensão da aplicação da economia circular na cadeia produtiva e de consumo, a Fundação Ellen McArthur, uma organização sem fins lucrativos britânica que apoia estratégias para implementação de uma economia circular, desenvolveu a figura II.2, a seguir. Nela é possível observar as atividades estratégicas atreladas a cada princípio, além das etapas e setores envolvidos.

Figura II.2 – Definições da Economia Circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation

Assim, a Indústria 4.0 é compatível com a proposta apresentada pela economia circular, apresentando uma oportunidade para alcançar uma indústria mais sustentável. Ao possibilitar cadeias de processo personalizadas e ampliar o volume e a variedade de dados coletados, a quarta revolução industrial seria capaz de otimizar o uso dos seus insumos, aumentando a eficiência de seus recursos e, conseqüentemente, reduzindo seu impacto ambiental.

II.2 Consequências

Uma nova revolução industrial tem, por natureza, uma característica disruptiva, ou seja, resulta na ruptura com os padrões existentes. Por isso, se faz necessário avaliar as possíveis consequências de uma revolução em andamento.

Os desdobramentos da quarta revolução industrial tem potencial para impactar os atuais modelos econômicos, políticos, sociais e culturais, abrindo espaço para diversas análises e hipóteses. De fato, se efetiva, a nova revolução industrial afetará toda a sociedade.

Analisando a indústria, que é tanto o ponto de partida da revolução, quanto seu foco principal, três variáveis se destacam pelo impacto potencial da quarta revolução: o processo produtivo, o mercado de trabalho e a estrutura de negócios.

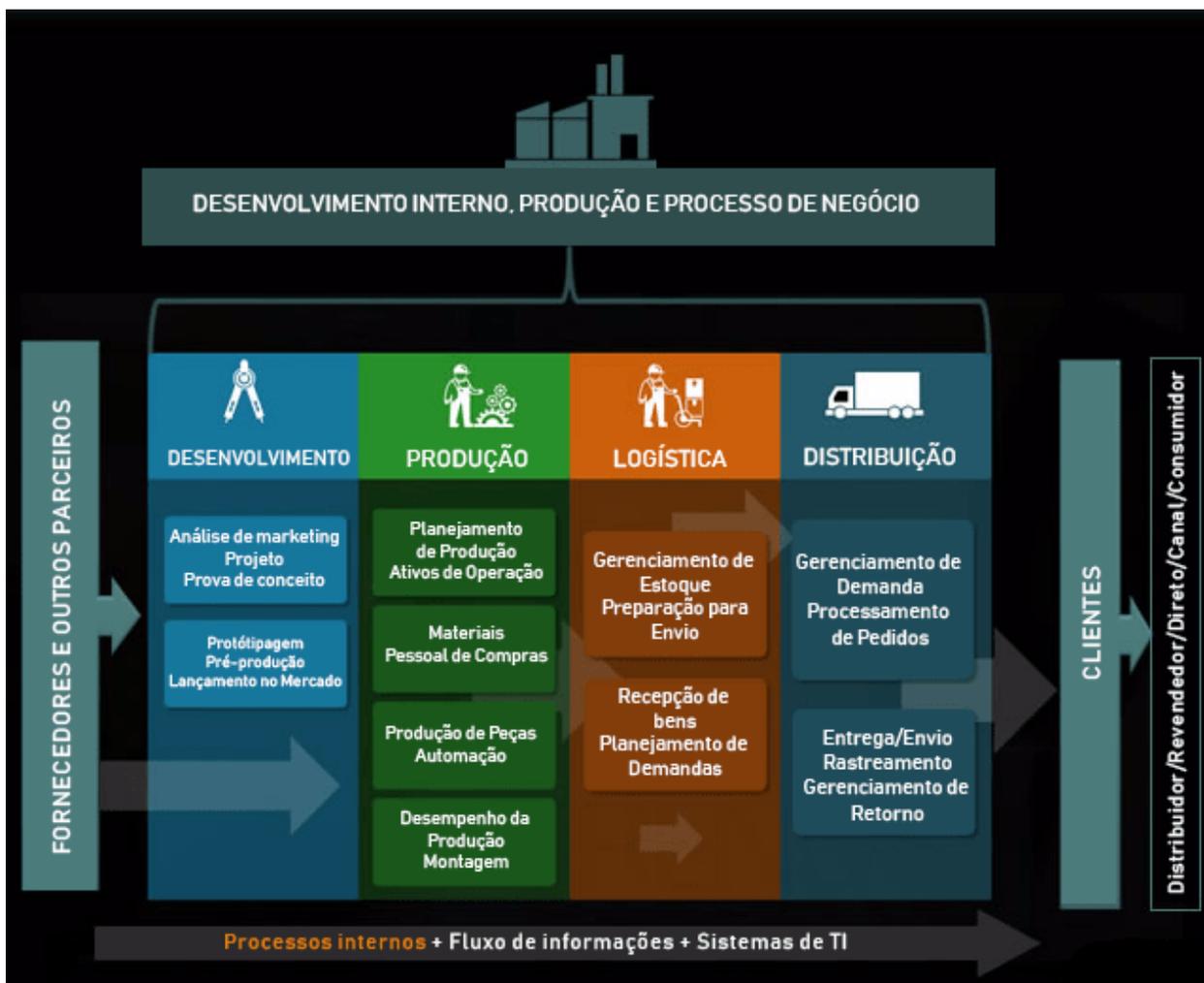
II.2.1 Processo de produção

A mudança nos processos de produção trazida pela quarta revolução industrial e todas as tecnologias habilitadoras citadas anteriormente se divide em quatro etapas principais: representação virtual da fábrica em tempo real, integração horizontal da cadeia de valor, integração vertical dos sistemas de manufatura e a engenharia integrada de ponta a ponta no ciclo de vida do produto (BENESOVÁ; TUPA, 2017). Todas essas esferas se baseiam na digitalização do processo e na divisão do mesmo em módulos de geração de valor, possibilitando assim a coleta de dados ao longo de toda a cadeia.

A representação virtual da fábrica em tempo real consiste no mapeamento e, posteriormente, digitalização de todo o processo. É incluído, então um sistema de informação responsável por coletar a informação do espaço físico e armazená-la no espaço virtual, usando a tecnologia de nuvem para armazenar todo o grande volume de dados criados que pode ser consultado posteriormente. Assim, sendo possível acompanhar todo o processo em tempo real através da representação virtual criada, essa etapa consiste na criação de um espaço ciberfísico, uma das tecnologias características na quarta revolução. (BENESOVÁ; TUPA, 2017)

A integração horizontal consiste na conexão e troca de informações entre todos os elementos da cadeia de valor. Essa integração ocorre internamente, ligando os setores envolvidos nas etapas de pesquisa e desenvolvimento de produtos, produção, comercial e logística, e também ocorre além da própria fábrica, conectando-se com parceiros externos, como fornecedores de matéria-prima, insumos e serviços, como representado na figura II.3, a seguir. Esse sistema de compartilhamento de informação entre tantos segmentos diferentes, apesar de complexo, tem como objetivo entregar um melhor serviço ao cliente.

Figura II.3 – Integração Horizontal da Cadeia de Valor



Fonte: Adaptado de I-SCOOP

A integração vertical é alcançada através da troca de informações entre os diferentes níveis hierárquicos dentro do processo de produção, que podem ser divididos em cinco níveis principais, sendo eles: o nível de campo, o nível de controle, o nível de produção, o nível de operações e o nível de planejamento empresarial.

O primeiro, nível de campo, interage com o processo de produção coletando informações através de sensores e atuadores. O nível de controle regula as máquinas e os sistemas, enquanto o nível de produção é responsável pelo monitoramento, controle e supervisão do processo. O nível de operações cuida do planejamento de produção e gerenciamento de qualidade e o nível de planejamento empresarial é responsável pelo gerenciamento e processamento de pedidos, planejamento geral da produção e o monitoramento de desempenho da fábrica.

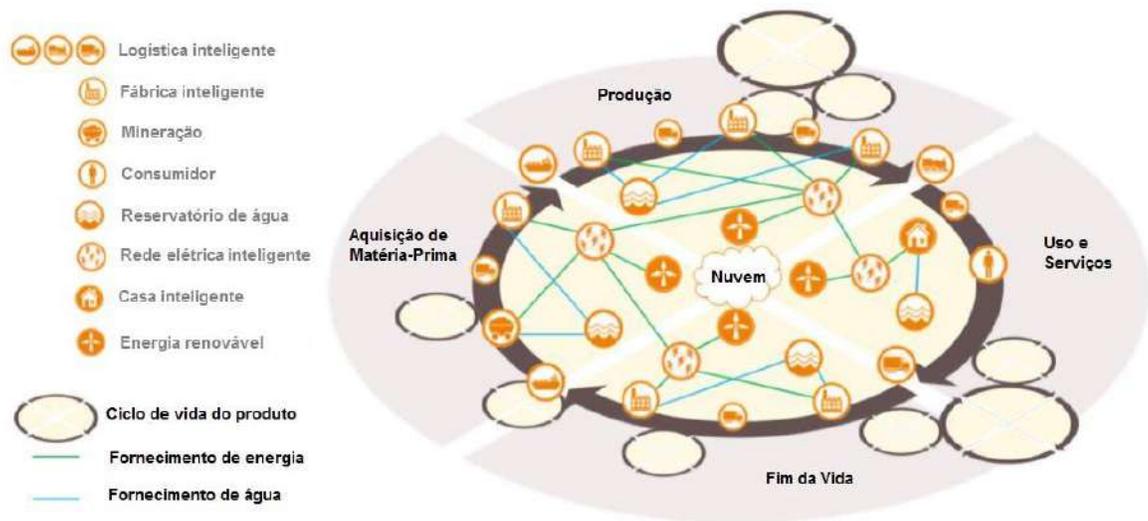
Para obter um processo com engenharia integrada de ponta a ponta na cadeia de valor, o compartilhamento de informação deve ocorrer desde a matéria prima até o consumidor final, acompanhando todo o ciclo de vida do produto. O compartilhamento de dados seria realizado através da nuvem. Já a coleta e comunicação de dados obtidos dentro do sistema de manufatura seriam feitas através dos sistemas denominados ciberfísicos, usando tecnologia de realidade aumentada, sistemas de sensores e controladores, que podem operar de maneira descentralizada e independente em cada módulo de produção. A combinação dos sistemas ciberfísicos conectados com a nuvem permitirão o compartilhamento ininterrupto de dados em tempo real.

A engenharia integrada de ponta a ponta com a integração vertical e horizontal colaboram para a descentralização da tomada de decisão, aumentando a responsabilidade individual e reduzindo a hierarquia. Essa descentralização, torna os processos mais rápidos e flexíveis. (STOCK; SELIGER, 2016)

Na figura II.4 a seguir, alguns recursos chaves foram distribuídos ao longo das etapas do ciclo de vida do produto. Os recursos denominados “*inteligentes*” indicam a implementação das tecnologias habilitadoras, principalmente a internet das coisas, a

nuvem e análise “*big data*”. Todas as etapas estão interligadas através da nuvem para garantir o uso mais eficiente dos recursos.

Figura II.4 – Perspectiva macro do processo produtivo da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de: STOCK, T. e SELIGER, G, 2016

Nesse esquema ainda estão presentes alguns conceitos provenientes da economia circular, representados pelos ciclos de vida dentro de cada fábrica, além da presença da energia renovável, que está alinhada com a preocupação ambiental. Apesar de não serem uma obrigatoriedade da Indústria 4.0, a adoção dessas estratégias é facilitada com o uso das tecnologias habilitadoras, além de ir ao encontro do objetivo de aumentar a eficiência no uso dos recursos.

II.2.2 Mercado de trabalho

Toda revolução tecnológica vem acompanhada de bastante apreensão quando o assunto é o impacto no mercado de trabalho. A ameaça da substituição da mão de obra pela tecnologia, acabando com funções e empregos, é a grande desmotivadora de toda revolução.

Historicamente, esse medo é justificado porque, ao longo de todas as revoluções industriais, tecnologias descontinuadoras elevaram a produtividade ao substituir por máquinas os trabalhadores existentes. Contudo, o resultado final não foi o fim do trabalho e sim a mudança no perfil do emprego e da mão de obra.

Ainda não é possível mensurar o impacto da quarta revolução no mercado de trabalho, mas é possível prever que, como todas as revoluções anteriores, as competências necessárias e os tipos de atividades realizadas se adequarão às tecnologias presentes e os novos modelos de negócios a serem formados. Para analisar melhor esse impacto, vamos dividi-lo em dois grupos, o primeiro focado nas características do trabalho e o outro, nas características da mão de obra.

II.2.2.1 Impacto nos empregos

A automação e digitalização das tarefas se apresentam como grandes ameaças para os empregos. As funções que realizam tarefas mecânicas e repetitivas já vêm sendo substituídas desde a última revolução. Assim, o avanço das máquinas e das tecnologias de automação tem sido, e continuarão sendo, responsáveis pela redução de trabalhadores alocados na indústria (STOCK; SELIGER, 2016).

Os empregos remanescentes na indústria envolverão trabalho mais qualificado, exigindo habilidades para executar atividades de curto prazo e pouco previsíveis. Essas novas atribuições permitirão que os funcionários participem do processo de tomada de decisão, das atividades de engenharia e do desenvolvimento de produtos (SPATH *et al.*, 2013)

Com todas as novas tecnologias presentes, é esperada a redução e, até, a extinção de empregos manuais, repetitivos, perigosos e insalubres. De acordo com Barbosa *et al.* (2017) essa redução de empregos de baixa remuneração e qualificação, abrirá espaço para o crescimento de empregos com contratos e horários flexíveis, temporários, autônomos e, até mesmo, remotos.

O ambiente altamente tecnológico e conectado criado com a Indústria 4.0 abre espaço para o crescimento de sistemas de trabalho como “*home-office*”⁷ e espaços de “*co-working*”⁸. Esses sistemas, possíveis graças ao avanço da internet e tecnologias como espaços ciberfísicos, realidade virtual e aumentada, apresentam como benefícios para o funcionário: a redução ou eliminação do tempo de deslocamento; a simplificação da transição entre a licença maternidade⁹ e a volta ao ritmo normal de trabalho; a flexibilidade de horários e a possibilidade de trabalhar internacionalmente sem a obrigatoriedade de emigração (ANZ CHARTERED ACCOUNTANTS, 2016).

O trabalho remoto, também traz benefícios para as empresas, reduzindo gastos com espaços físicos e possibilitando a contratação de mão de obra internacional sem a necessidade de migração. O crescimento do trabalho remoto, inclusive, tem dado espaço para novas formas de contratação temporária. Usando esses recursos, empresas podem contratar funcionários altamente qualificados para exercer atividades específicas durante um período pré-determinado através de contratos flexíveis de prestação de serviços.

Esse fenômeno de terceirização de funções, conhecido como “*outsourcing*” é bastante beneficiado pelo sistema de computação em nuvem e as plataformas de serviço que funcionam como uma base de dados de profissionais, promovendo o contato entre o cliente que busca o serviço e o profissional capacitado a fornecê-lo. A preservação de direitos trabalhistas nesse ambiente de transformações tecnológicas ainda necessita de uma longa caminhada para se assegurar que não ocorram prejuízos efetivos aos empregados.

⁷ Expressão inglesa que pode ser traduzida para escritório em casa, é utilizada para indicar o sistema de trabalho onde o funcionário trabalha de casa.

⁸ Modelo de trabalho que se baseia no compartilhamento de espaço e recursos de escritório, reunindo pessoas que trabalham não necessariamente para a mesma empresa ou na mesma área de atuação no mesmo ambiente.

⁹ Licença com remuneração, concedida à mulher grávida, de acordo com a legislação vigente. Em alguns países o benefício também é válido em casos de adoção e estendido a ambos os pais.

Porém, esses avanços tecnológicos não são ameaças para todos os empregos. Schwab (2016, p. 46) aponta que empregos que exigem habilidades sociais e criativas, que atuam com tomadas de decisão em situações de incerteza e desenvolvimento de novas ideias, apresentam baixo risco de automação.

De acordo com Frey e Osborne (2013), dois pesquisadores da *Oxford Martin School*, as áreas de gestão, administração, negócios e finanças correm pouco risco com a digitalização por serem intensivas em tarefas que exigem inteligência social. O mesmo vale para a maior parte dos cargos nas áreas de educação, saúde, artes e mídia.

Ainda é possível que muitos novos empregos surjam (MANYKA *et al.*, 2017), não apenas devido à quarta revolução industrial, mas também por fatores não tecnológicos, como mudanças geopolíticas, pressões demográficas e novos padrões culturais e sociais. Uma vez que os desejos e as necessidades humanas são infinitos, a inovação, competitividade e crescimento também podem ser infinitos, sendo necessário uma força de trabalho capacitada para atender essas futuras demandas (SCHWAB,2016).

II.2.2.2 Impacto nas competências

Apesar dos impactos da quarta revolução industrial nos empregos se apresentarem como uma ameaça, os impactos nas competências podem criar oportunidades para minimizar qualquer efeito negativo da revolução industrial no mercado de trabalho.

Entender quais as competências necessárias para o novo cenário econômico que se forma poderá permitir que a mão de obra se prepare e adquira a qualificação necessária para atender às novas exigências. Essa qualificação prévia da mão de obra é benéfica tanto para os empregados quanto para os empregadores, evitando duas possíveis crises tradicionais de toda revolução industrial: a falta de mão de obra qualificada (MCGOWAN; ANDREWS, 2015) e a falta de emprego.

A mão de obra da indústria do futuro será mais generalista que especialista, ampliando a base de conhecimento necessária. Com a integração vertical e horizontal, o grande volume de informações coletas e compartilhadas e as novas tecnologias, surgirá um aumento na demanda de empregados com conhecimento interdisciplinar da organização (STORMER *et al.*, 2014), entendendo seus processos e tecnologias, além de dominar habilidades sociais, comerciais e administrativas.

Segundo Manyka *et al.* (2017), a demanda por habilidades sociais, emocionais e cognitivas aumentará por serem competências necessárias para a execução de atividades que não são facilmente automatizadas. Como as atividades físicas, repetitivas e previsíveis serão realizadas pelas máquinas, os empregados assumirão as atividades que envolvem comunicação interpessoal, gestão de pessoas, raciocínio lógico e criatividade.

O aumento das responsabilidades dos funcionários, causado pelo aumento da sua influência no processo produtivo, gera a necessidade de maiores habilidades analíticas e gerenciais, inclusive competências como o gerenciamento de tempo e de conhecimento. Para ser capaz de lidar com as mudanças constantes propostas pela nova revolução industrial, uma mentalidade de aprimoramento contínuo e flexibilidade ganham uma nova importância para o trabalhador (STORMER *et al.*, 2014; GEHRKE *et al.*, 2015; FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL, 2016; HECKLAU *et al.*, 2016).

No trabalho de Hecklau *et al.* (2016), é apresentada uma classificação para as competências. Essa classificação consiste em quatro grupos principais: competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais. As duas primeiras categorias estão relacionadas à realização das tarefas, sendo que a técnica, compila os conhecimentos e habilidades específicos para execução do trabalho, enquanto a metodológica, também chamada de cognitiva (BUGHIN *et al.*, 2018), está relacionada a tomada de decisões e resolução de problemas. A terceira categoria, social, está relacionada a interação com os outros, envolvendo competências de comunicação e cooperação, enquanto a última categoria, pessoal, está relacionada as motivações e valores do indivíduo. No quadro II.1,

a seguir estão listadas 25 competências, selecionadas entre todas as competências apresentadas em cinco estudos realizados entre 2014 e 2018¹⁰.

Os critérios para a seleção foram: a frequência com a qual a competência era citada, a relação com as mudanças advindas da revolução tecnológica e ligação com mais de um setor da indústria. Cada uma das competências selecionadas foi classificada em um dos quatro grandes grupos citados anteriormente, e contextualizadas, justificando a sua seleção.

¹⁰Os estudos usados foram: “The Future of Work: Jobs and Skills in 2030” (STORMER *et al.*, 2014); “A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective” (GEHRKE *et al.*, 2015); “The Future of Jobs” (WEF, 2016); “Holistic approach for human resource management in Industry 4.0” (HECKLAU *et al.*, 2016); e “Skill Shift Automation and The Future of the Workforce” (BUGHIN *et al.*, 2018).

Quadro II.1- Competências exigidas pela nova revolução industrial

| Categoria | Competências | Contexto |
|---------------------|---------------------------------|---|
| Técnica | Conhecimento técnico | Os novos empregados terão que lidar com tarefas mais estratégicas que operacionais, aumentando o nível de responsabilidade de seus cargos além de lidarem com processos mais complexos e digitais. Necessitando de maiores conhecimentos e habilidades técnicas, além de conhecimentos de TI. |
| | Habilidades técnicas | |
| | Conhecimento do processo | |
| | Uso de mídias sociais | |
| | Programação | |
| | Conhecimentos de cibersegurança | |
| Metodológica | Criatividade | Flexibilidade e customização são algumas características do futuro do mercado. Para atender essa nova demanda é preciso ter condições de inovar em produtos e processos de maneira rápida. Sendo necessária a análise dos dados disponíveis e a decisão de adaptações e mudanças feitas nos processos e produtos para atender as exigências do cliente. |
| | Mentalidade empreendedora | |
| | Solução de problemas | |
| | Solução de conflitos | |
| | Tomada de decisão | |
| | Pensamento analítico | |
| | Pesquisa | |
| Foco em eficiência | | |
| Social | Línguas estrangeiras | Para atender a tendência da indústria de ser global e focada em serviço, é essencial ser capaz de se comunicar com clientes e parceiros. Com a maior integração da cadeia de valor, um bom relacionamento entre os elos da cadeia se faz necessário para que um se ajuste as necessidades do outro. |
| | Comunicação | |
| | Networking | |
| | Trabalho em equipe | |
| | Transferir conhecimento | |
| | Liderança | |
| Pessoal | Flexibilidade e adaptabilidade | A mudança, virtual e a sustentabilidade serão constantes no novo modelo de produção. Será preciso se ajustar a essas mudanças rapidamente utilizando os recursos virtuais e pensando em sustentabilidade. |
| | Tolerância | |
| | Motivação para aprender | |
| | Trabalhar sobre pressão | |
| | Mentalidade sustentável | |

Fonte: STORMER *et al.* (2014), GEHRKE *et al.* (2015); WEF (2016), HECKLAU *et al.* (2016), BUGHIN *et al.* (2018).

Para o sucesso da quarta revolução industrial, ter mão de obra qualificada é necessário tanto agora, nas etapas iniciais de mudança tecnológica, quanto no futuro, quando elas já estiverem estabelecidas. Contudo, o conjunto de habilidades e qualificações necessárias continuará mudando (GEHRKE *et al.*, 2015), dando espaço para a adoção de duas estratégias: a qualificação da mão de obra existente para atender as exigências de curto prazo e o desenvolvimento de sistemas para a qualificação da mão de obra futura que atenderá as demandas de longo prazo.

Garantir que a mão de obra tenha condições adequadas para obtenção das qualificações necessárias para a transição entre o cenário industrial e o futuro é o que evitará que os países, ao passarem por essa transição tecnológica, sofram com altas taxas de desemprego e recessão econômica (MALYKA *et al.*, 2017). É certo que será necessário implantar o **Mercado de trabalho 4.0**.

II.2.3 Educação

As tecnologias emergentes afetarão a educação, uma vez que só pessoal qualificado será capaz de utilizar essas tecnologias, gerando a necessidade de mudanças no sistema educacional (BENESOVA; TUPA, 2017). Adaptar a grade curricular escolar, treinamentos e programas universitários, são necessários para alcançar o novo nível de habilidades de tecnologia da informação e inovação necessários (LORENZ *et al.*, 2015).

Muitas medidas têm sido propostas para atender os futuros requisitos de qualificação. É possível organizar essas medidas em três fases da trajetória educacional: educação básica, transição escola-trabalho e treinamento vocacional continuado (GEHRKE *et al.*, 2015, p.17).

As fases iniciais da educação podem ser utilizadas para promover e sustentar uma rede contínua de talento. Por isso, o contato com matérias baseadas em tecnologias, contando com conhecimentos básicos de tecnologia da informação (GEHRKE *et al.*, 2015) ou até mesmo usando recursos visuais como realidade virtual, aumentada e

simulações, facilitaria a adaptação dessa futura mão de obra às tecnologias presentes na indústria (BENESOVA; TUPA, 2017).

A fase de transição entre escola e trabalho inclui cursos técnicos e universitários, trazendo sugestões de mudanças curriculares, adição de recursos didáticos e mudanças de metodologias. A principal sugestão é o estreitamento da ligação entre as instituições de ensino e as indústrias, compartilhando conhecimento entre as duas e agregando ao aprendizado prático dos alunos.

A relação entre o ensino e a indústria pode ser fortalecida através de estágios e pesquisas realizadas em parceria. Esse contato do aluno com a indústria reforça habilidades técnicas, habilidades sociais e organizacionais, conhecimento de processos, desenvolve conhecimentos específicos sobre as tecnologias usadas e promove conhecimento interdisciplinar (GEHRKE *et al.*, 2015).

O crescimento da interdisciplinaridade no ensino superior pode ser alcançado com mudanças curriculares e surgimento de novos cursos e disciplinas (BENESOVA; TUPA, 2017). Incluindo disciplinas práticas e teóricas, os cursos podem integrar conhecimentos de tecnologia, administração, marketing, economia e inovação. A combinação de várias áreas de conhecimento na qualificação da mão de obra, oferece uma visão mais compreensiva de toda a cadeia de valor, capacitando o aluno para trabalhar com o sistema integrado característico da nova revolução (BAENA *et al.*, 2017).

A interdisciplinaridade ainda pode ser alcançada com a flexibilização das grades curriculares. Redecker e Punie (2013), defendem que os três pilares para o futuro da educação e do treinamento são: a personalização, a colaboração e a informalização. Esses três pilares, permitem a criação de planos de aprendizado que levam em conta as necessidades, interesses e preferências de cada um. A proposta é que a educação auxilie no desenvolvimento de habilidades de aprendizado, sociais e pessoais, além do conteúdo teórico.

A preocupação com a metodologia de ensino cresce junto com a demanda por qualificações pessoais e sociais, já que muitas dessas competências não podem ser bem desenvolvidas através de aulas teóricas. Atividades que promovem a interação com pessoas e tecnologias se apresentam como uma alternativa interessante para o exercício de tais habilidades (GEHRKE *et al.*, 2015).

Buscando desenvolver práticas pedagógicas para o ensino superior que equilibrem habilidades sociais, conhecimento científico e treinamento técnico, surge o conceito de “*learning factory*”. Podendo ser definido como uma réplica idealizada de seções da cadeia de valor industrial para o ensino, as Fábricas Modelo¹¹ são usadas para propósitos educacionais, pesquisa e treinamentos em diversas áreas, como: manufatura, eficiência energética e serviços.

As Fábricas Modelo criam um cenário didático que permite que os alunos tenham experiências práticas em contextos reais. Esses ambientes de aprendizado altamente complexos facilitam o desenvolvimento de competências de alta qualidade exigidas pela nova revolução industrial (BAENA *et al.*, 2017).

Além das alterações no ensino superior, a reestruturação e o crescimento de cursos técnicos e profissionalizantes é necessário para executar as tarefas resultantes da implementação dessas tendências tecnológicas na indústria. As funções do chão de fábrica serão interdisciplinares e por isso, uma qualificação adequada se faz necessária.

O objetivo do curso não seria o desenvolvimento de uma habilidade específica, como os cursos técnicos tradicionais, e sim de um conjunto interdisciplinar de habilidades envolvendo conhecimentos das seguintes áreas: automação industrial, programação, processamento de dados e estatística. Todas essas áreas de interesse e as tecnologias

¹¹ A primeira Fábrica Modelo da América Latina foi inaugurada no Brasil, em 2015, numa parceria do SENAI com a empresa de consultoria McKinsey. A Fábrica localizada em Salvador contou com um investimento de R\$ 4 milhões e tem como objetivo auxiliar na otimização de processos de 75 indústrias por ano. Em 2018, o SENAI CETIQT concluiu a construção da primeira Fábrica Modelo de Confecção 4.0 no Rio de Janeiro.

usadas ao longo do curso compreendem as competências e habilidades técnicas relevantes para o futuro da indústria (GEHRKE *et al.*, 2015).

Com a substituição de postos de trabalho por máquinas automatizadas de produção, novas demandas surgirão, entre elas: a operação, manutenção e restauração, em caso de obsolescência de certas partes. Para ser capaz de lidar com essas novas atividades a mão de obra existente precisará passar por treinamentos adicionais (BENESOVA; TUPA, 2017).

O surgimento de novas atividades e funções é uma tendência da nova indústria, que tem como uma de suas características principais a flexibilidade da produção. Essa flexibilidade gera a necessidade da mão de obra se adaptar rapidamente as novas condições de operação, por isso é essencial a continuidade do treinamento vocacional para garantir que a qualificação da mão de obra acompanhe as demandas do mercado (STORMER, 2014; WEF, 2016).

Independentemente do nível de estudo da mão de obra, ensino médio, técnico ou superior, é essencial que a qualificação seja continuada quando inserida no mercado de trabalho. Uma vez que, a qualidade e a capacitação da mão de obra interferem nos ganhos de produtividade das empresas (GEHRKE *et al.*, 2015). O investimento contínuo no desenvolvimento dos funcionários se faz necessário para acompanhar o crescimento do impacto tecnológico, dando origem a uma nova era da educação, chamada por Collins e Halverson (2010) de “*lifelong learning era*”

Esse conjunto de observações relacionadas à educação demonstra a complexidade e os esforços que serão necessários empreender para se conseguir obter os resultados positivos esperados no processo de implementação da 4ª Revolução Industrial. Talvez a única certeza esteja na necessidade de implantar ao mesmo tempo a **Educação 4.0.**

II.2.4 Modelo de Negócios

Com a aproximação de uma nova revolução industrial, os modelos de negócios clássicos têm se tornado vulneráveis (HECKLAU *et al.*, 2016). Com as novas tecnologias disponíveis, empresas não precisam mais optar entre os benefícios da produção em escala e os benefícios da proximidade com o cliente, que favorecem, o fornecimento de um atendimento personalizado (ALLEN; ROOT; SCHWEDEL, 2017).

As novas tecnologias possibilitarão o desenvolvimento de processos, produtos e serviços capazes de gerar dados sobre suas atividades (SNIDERMAN; MAHTO; COTTELEER, 2016), além de facilitar o processo de customização através da criação individual e produção em batelada de cada produto. Essa produção é possível graças as tecnologias de fabricação digital, muito usadas na prototipagem, e a flexibilização e integração do processo de produção e da cadeia de valor, que passam a poder ser adaptados para cada produto (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016).

Os dados gerados pelos produtos e serviços podem ser utilizados para o desenvolvimento de novos produtos e serviços, além do aprimoramento dos produtos e serviços atuais (SNIDERMAN; MAHTO; COTTELEER, 2016). Essa comunicação entre a empresa e o cliente estreita o relacionamento entre eles, permitindo que a empresa tenha um entendimento maior sobre as necessidades e preferências de cada cliente para se adequar a essas demandas rapidamente (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016)

As tecnologias de fabricação da Indústria 4.0, nas chamadas fábricas inteligentes, trazem os benefícios econômicos da produção em escala, sem perder a possibilidade da customização. Essa mudança tecnológica acaba com o conflito entre a produção grande e de baixo custo e a produção específica e diferenciada (ALLEN; ROOT; SCHWEDEL, 2017). Associando essa produção à tecnologia de “*big data*”, a empresa é capaz de fornecer a experiência do atendimento personalizado ao cliente, sem abrir mão da escala.

Essa maior preocupação com o atendimento ao cliente, poderá levar os modelos de negócios a serem mais orientados para o serviço (HECKLAU *et al.*, 2016). Assim, a rapidez de resposta ganha importância, fazendo com que o modelo operacional seja repensado de forma a aumentar a velocidade de resposta e atender as mudanças nas demandas e comportamentos dos clientes (DAVIS-PECCOUD *et al.*, 2018). A divisão das responsabilidades ao longo dos diversos segmentos da cadeia de produção, agiliza o processo de tomada de decisões, levando a redução de cargos gerenciais e aumentando o autogerenciamento dos funcionários e equipes (ALLEN; ROOT; SCHWEDEL, 2017).

O crescimento dos modelos de negócios digitais, rápidos e orientados para serviços, se apresentou como uma oportunidade para o surgimento das plataformas, ambientes virtuais que conectam prestadores de serviço ou recursos disponíveis a clientes (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016). As plataformas se espalharam pelo mundo terceirizando desde mão-de-obra até linhas de produção inteiras, tendo como clientes tanto pessoas físicas quanto empresas. Allen, Root e Schwedel (2017) resumem essa tendência de tantos recursos estarem disponíveis sob demanda como “*Everything as a service*”¹².

O modelo de negócios das plataformas, por trabalhar como intermediário, possui dois grupos de clientes, os consumidores e os fornecedores. Os primeiros buscam na plataforma comodidade, variedade e segurança, enquanto os últimos buscam, principalmente, a divulgação e a assistência, que pode ser dada pela facilidade nas transações, operações, logística ou até mesmo pela análise de dados coletados de cada cliente e transação pela plataforma. Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016) resumem os benefícios do modelo de plataforma para a empresa desenvolvedora como “*In Industry 4.0, whoever owns a platform owns access to the customer, and can place its own brand in the aggregated work of other enterprises*”¹³.

¹² “Tudo como um serviço” (tradução nossa)

¹³ “Na “Indústria 4.0”, o dono da plataforma é quem tem acesso ao cliente, e quem pode agregar sua própria marca ao trabalho de outras empresas” (tradução nossa).

Essa terceirização de equipamentos, sistemas e pessoal, realizada através de plataformas ou não, é um recurso que pode facilitar a transição das empresas a nova revolução industrial (DAVIS-PECCOUD *et al.*, 2018). Por exemplo, pequenas empresas podem “alugar” linhas de produção inteiras para a sua produção, se aproveitando da escala, experiência e metodologia da prestadora de serviço (ALLEN; ROOT; SCHWEDEL, 2017)¹⁴, permitindo o lançamento dos seus produtos com um custo inicial menor.

Para se adaptar à nova revolução industrial, as empresas precisarão adaptar suas práticas organizacionais e seus modelos de negócios. Será necessário desenvolver um modelo de negócios digital, que faça uso das novas tecnologias e da análise de dados (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016), focado em serviços, priorizando o atendimento ao cliente e a customização de acordo com as demandas e rápido, agilizando a tomada de decisão e, conseqüentemente, as alterações aos processos de produção.

Assim como na educação, essa abordagem de novo modelo gerencial embute muita complexidade. Provavelmente necessitará de um bom período para ser efetivamente incorporada nas práticas predominantes das organizações empresariais, de vários tipos, e em suas relações organizacionais, trabalhistas, comerciais e de competição para que sejam obtidos os resultados favoráveis esperados.

¹⁴ A Amazon fornece desde 2015 um serviço chamado “*Merch by Amazon*” onde pequenas empresas ou pessoas físicas criam camisetas que serão produzidas, vendidas e distribuídas pela Amazon. A Amazon, então define um custo para o produto e o criador define o preço de venda, e conseqüentemente o valor que receberá por cada produto vendido.

III. A indústria química

A indústria química pode ser descrita como a indústria que utiliza e manufatura produtos químicos através de transformações moleculares. Porém, essa descrição simples abre espaço para múltiplas interpretações do termo "*químico*" e, conseqüentemente, dos produtos que constituem a indústria química. Por isso é possível encontrar definições de indústria química diferentes em cada país.

Comparada a outras indústrias, a indústria química é a com maior diversificação. Sua grande variedade de produtos, tem como consumidores tanto o público em geral, quanto outras indústrias e empresas. Muitos de seus produtos atuam como intermediários de outros processos químicos, assim, empresas que fazem parte da indústria atuam como clientes de outras empresas também pertencentes à indústria química.

A indústria química pode ser dividida em diversos segmentos. Assim como existem muitas definições para indústria química, existem inúmeras classificações para seus produtos, que variam de acordo com o objetivo pretendido, o país, o mercado, as estatísticas locais e os estudos realizados.

Para sermos capazes de analisar as possibilidades de crescimento do setor com a "Indústria 4.0" é necessário, primeiro definir cada segmento, relacionar os produtos integrantes e pontuar as particularidades de cada um deles.

III.1 Caracterização dos segmentos

A versatilidade de usos e pluralidade de produtos, faz com que seja muito difícil analisar a indústria química como um todo, sendo necessário dividi-la em segmentos menores que apresentem propriedades similares. Diferentes sistemas de classificação trazem diferentes definições desses segmentos.

No Brasil, a ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química, uma entidade sem fins lucrativos que engloba indústrias químicas de grande, médio e pequeno portes, é uma instituição que organiza o acompanhamento estatístico do setor, além de promover estudos específicos sobre as atividades e produtos da indústria química, acompanhar as mudanças na legislação e assessorar as empresas associadas em assuntos econômicos, técnicos e de comércio exterior.

Assim, a classificação desenvolvida pela ABIQUIM é a mais utilizada no país. Se baseando nas divisões da CNAE - Classificação Nacional de Atividade Econômica, desenvolvidas pelo IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia Estatística segundo critérios estipulados pela ONU, a classificação da ABIQUIM contempla as divisões 20 e 21 da CNAE 2.0 organizados em dois grupos de acordo com sua finalidade.

Produtos químicos de uso industrial e produtos químicos de uso final são os dois segmentos gerais da classificação adotada pela ABIQUIM. O primeiro abrange aproximadamente três mil produtos utilizados na própria indústria química ou em outros setores industriais. Já o segundo, engloba produtos destinados ao consumidor final, como fibras artificiais, produtos de limpeza, defensivos agrícolas, fertilizantes, tintas, esmaltes, vernizes, produtos farmacêuticos, cosméticos e de higiene pessoal.

Devido a estrutura da indústria química brasileira, foram selecionados pela ABIQUIM para acompanhamento estatístico do setor apenas uma parte dos itens englobados pelas divisões 20 e 21 da CNAE, tomando como base cerca de duzentos produtos, sendo eles majoritariamente do segmento de produtos químicos de uso industrial.

Para realizar uma análise mais ampla da indústria química global, e assim pontuar mais detalhadamente as oportunidades possíveis de implementação da “Indústria 4.0”, torna-se essencial a seleção de uma classificação com um número maior de segmentos. Será utilizada, então, a classificação criada pelo ACC - American Chemistry Council, que engloba os mesmos produtos que a ABIQUIM, porém os organiza em segmentos mais detalhados.

São cinco as divisões definidas pelo ACC: químicos básicos, especialidades, agrícolas, consumo e farmacêutico. Cada uma dessas divisões traz um grupo de produtos com características próprias, que apresentam oportunidades distintas para a aplicação das tecnologias e estratégias advindas da quarta revolução industrial.

III.1.1 Químicos básicos

Químicos básicos ou químicos de “*commodities*” são produzidos em larga escala e tem especificações homogêneas, ou seja, praticamente sem diferenciação do produto. Costumam ser matéria prima de outras indústrias, sendo tipicamente incorporados em produtos manufaturados ou adicionados em outros processos. Esse grupo engloba os químicos inorgânicos, petroquímicos, intermediários orgânicos, resinas plásticas, borracha sintética, fibras manufaturadas, tintas e pigmentos básicos.

Esse setor tradicional é intensivo em capital, com alto custo de implantação e elevado gasto energético, principalmente devido a produção em larga escala. Como seus principais consumidores são produtores de outros químicos e seu preço está muito relacionado à capacidade utilizada e ao custo da matéria prima, a margem de lucro sobre o preço do produto acaba sendo baixa e com volatilidade em seus preços, resultantes das variações da oferta e da demanda.

O alto custo de implantação e produção, os riscos ambientais, a dificuldade de acesso à matéria prima e a grande escala são barreiras de entrada nesse mercado. Por isso, esse setor acaba sendo dominado por oligopólios, com poucas empresas participantes.

III.1.2 Especialidades

As especialidades químicas são produtos com alto grau de diferenciação produzidos em pequena quantidade para usos específicos. O nível de tecnologia incorporado nos produtos do segmento de especialidades é consideravelmente maior

que o dos químicos básicos, principalmente por se tratarem, muitas vezes, de soluções customizadas, que buscam atender a exigências de eficiência do processo ou no aprimoramento do produto.

Catalisadores, lubrificantes, aditivos em geral, flavorizantes, aromatizantes, aditivos alimentícios, polímeros, adesivos e detergentes são alguns exemplos de especialidades químicas. Diferentemente da indústria de químicos básicos, esse setor categoriza seus produtos mais pela sua aplicação do que pela sua composição química.

O mercado consumidor desse segmento é bastante amplo, incluindo diversas indústrias manufatureiras, como a alimentícia, automobilística, cosmética, de papel, plástico e borracha, além dos setores de recuperação de óleo, tratamento de água, construção e utilidades eletrônicas.

A diversidade das especialidades químicas é alcançada através de investimentos em inovação e muitas vezes protegida por patentes. Assim, muitos produtos com a mesma aplicação apresentam composições e processos de produção distintos por terem sido desenvolvidos por empresas diferentes.

Esse segmento conta com um grande número de empresas competindo dentro dos seus nichos do mercado, assim, além dos investimentos em tecnologia e desenvolvimento do produto, cresce a preocupação com os serviços atrelados ao produto. A competição direta entre os fabricantes acaba sendo amortecida pela relação de confiabilidade entre o produtor e cliente. O atendimento ao cliente, marketing e logística recebem mais atenção por contribuírem como fatores de diferenciação no seu mercado. Esses serviços aliados ao alto nível tecnológico e a especificidade desses produtos contribuem para o aumento do seu valor agregado e menor volatilidade dos seus preços.

III.1.3 Agrícola

O segmento agrícola pode ser dividido em dois grupos, o dos fertilizantes e o dos defensivos agrícolas. Seus produtos ainda podem ser considerados uma interseção entre os “*commodities*” e as especialidades. Apresentando, assim, características dos dois segmentos da indústria química citados anteriormente.

“*Commodities*” por apresentarem poucas matérias primas e processos relativamente simples e especialidades por possibilitar a diferenciação da composição para atender as necessidades e exigências de cada cliente.

O principal diferencial do setor é ele atender, quase exclusivamente, uma única atividade econômica. Os produtos deste segmento têm como destino principal, a agricultura.

Apesar de ser possível encontrar aplicações dos subprodutos destes processos de produção em outros segmentos do mercado, como o caso do fosfogesso, subproduto da produção de fertilizantes fosfatados, na construção civil, a contribuição dessas áreas não é suficientemente significativa para serem consideradas áreas de interesse deste segmento. Por isso, as áreas diferentes da agricultura que são atendidas pela indústria química agrícola não interferem na análise do segmento, sendo utilizadas para escoamento de subprodutos e redução de resíduos.

III.1.3.1 Defensivos agrícolas

Esse subsegmento engloba fungicidas, herbicidas, inseticidas e pesticidas, sendo utilizados para o controle de pragas, doenças, roedores, insetos, germes e plantas invasoras.

Criados com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola, os defensivos agrícolas são o foco de muitas discussões e polêmicas. Também conhecidos como

agrotóxicos, esses produtos eliminam espécies que ameaçam o ciclo de vida da planta, sendo assim tóxicos para um grupo específico de seres vivos, como insetos, fungos ou ervas daninhas.

Exatamente devido a sua propriedade tóxica é que os defensivos agrícolas atraem tanta atenção e se encontram no centro de debates com correntes de pensamento ambientalistas que aumentam sua influência na sociedade do sec. XXI.

III.1.3.2 Fertilizantes

Fertilizantes são produzidos através da combinação dos três principais elementos básicos, nitrogênio, fósforo e potássio, conhecidos por NPK, sigla formada pelos seus três símbolos químicos. São adicionados ao solo para substituir ou suplementar os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

Cada tipo de solo e cultura tem exigências diferentes de nutrientes e por isso a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio presente nos fertilizantes pode variar para atender as necessidades específicas de cada solo e tipo de planta.

Os preços são determinados, principalmente, pelo custo da matéria prima, uma vez que o processo de produção dos fertilizantes consiste, basicamente, numa operação de mistura dos componentes, não agregando, assim, um alto valor em sua produção.

As principais problemáticas desse subsetor é a volatilidade da produção agrícola – sujeita a variações climáticas que provocam períodos de baixa precipitação pluviométrica –, a sazonalidade e o surgimento de plantações transgênicas que podem trazer incertezas sobre a demanda por fertilizantes.

III.1.4 Consumo

O segmento de consumo é o segmento mais antigo da indústria química¹⁵. Incluindo, em seu portfólio de produtos, sabões, detergentes, alvejantes, artigos de higiene pessoal, cosméticos, perfumes e produtos de limpeza, esse segmento atende diretamente o mercado consumidor.

Seus produtos tendem a apresentar formulações simples e ser produzidos em processos de batelada. Alguns processos mais complexos que requerem plantas maiores ainda são encontrados nesse segmento, como os de produção de detergentes. As principais matérias primas envolvidas na produção são óleos, gorduras, surfactantes, emulsificantes, aditivos e químicos básicos, que são submetidos, principalmente, a processos para a formulação de misturas e dispersões.

O processo de inovação, pesquisa e desenvolvimento, em constante busca por diferenciação de produtos com melhor qualidade e desempenho, necessita de muita integração com o usuário final.

Outro dos principais diferenciais desse setor é a embalagem. Por atender o público, surge uma maior preocupação com a identidade visual da marca e de seus produtos. Assim, além dos processos de formulação, são adicionados à linha de produção operações de empacotamento, acarretando num aumento na necessidade de capital.

Canais de distribuição, faixas de preço e perfil do consumidor são os critérios que subdividem esse mercado. Os principais canais de logística e distribuição se articulam com os pontos de venda, que incluem os supermercados, lojas de departamento, farmácias, atacadistas e lojas especializadas. Com a variedade de canais de distribuição,

¹⁵ Registros da produção de materiais semelhantes ao sabão foram encontrados numa escavação na região da antiga Babilônia e datam de cerca de 2800 a.C. [ver : The History of Soap - Soap Inventors and Origins. Disponível em: < <http://Disponível em: www.soaphistory.net/soap-history/> >].

os gastos com logística se tornam um dos principais fatores para o cálculo do preço final do produto.

A faixa de preço é definida de acordo com o perfil do consumidor escolhido como público alvo e inclui não só os custos de produção e distribuição como também os gastos com *marketing*, além de possíveis adicionais pela identidade da marca ou para seleção de um grupo restrito de consumidores. Esses são os casos de produtos “*premium*” que atendem um mercado restrito, porém disposto a pagar adicional pela exclusividade e reputação da marca.

A consolidação da marca nesse segmento ajuda a manter a margem de lucro mais alta do que as margens encontradas para o segmento de químicos básicos. Contando com diversas empresas atendendo a esse mercado, a fidelidade de marca chega a ser mais importante nesse segmento que no de especialidades. Assim, para lidar com a alta competição pelo espaço nas prateleiras são realizados elevados investimentos em propaganda.

O desenvolvimento de produtos e a expansão das marcas são bastante relevantes neste segmento, por serem importantes estratégias para lidar com o curto ciclo de vida dos produtos deste segmento. Adicionalmente, a mudança do perfil de consumo que exige produtos mais sustentáveis e tecnológicos, tem contribuído para o aumento na necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento deste setor.

Por ser direcionado ao consumidor final, além de encontrar uma demanda bastante fragmentada, as empresas deste segmento, ainda encontram muitas barreiras regulatórias, principalmente na composição dos produtos. Cada país apresenta órgãos reguladores e diferentes especificações para cada categoria de produtos. No Brasil, a agência responsável por esse setor é a ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Com o avanço da internet e do *e-commerce* tem ocorrido mudanças na forma como as empresas divulgam e comercializam seus produtos. Sendo assim, a internet tem

se tornado uma ferramenta essencial para a consolidação de marcas numa escala global. São criados focos e estratégias diferentes para cada linha de produtos pertencentes a mesma marca, atendendo a demandas específicas de cada grupo de consumidores.

III.1.5 Farmacêutico

A indústria farmacêutica inclui remédios, vitaminas, vacinas e outras preparações tanto para uso humano quanto veterinário. Altos investimentos em pesquisa, longos períodos de desenvolvimento de produtos, altas margens de lucro, processos de síntese em batelada e operações de formulação com alto controle de qualidade e ambientes estéreis, são algumas das principais características desse segmento.

Atendendo o setor de saúde, que engloba hospitais, clínicas, médicos e farmácias, esse segmento encontra fortes barreiras regulatórias. Assim, cada novo produto precisa atender vários requisitos, passar por diversos testes e ter seus resultados comprovados antes de ter sua distribuição, comercialização e uso autorizados.

Além das altas barreiras regulatórias, questões como os altos custos de desenvolvimento de novos produtos, a terceirização das operações de química fina, as discussões de propriedade intelectual, a redução do ciclo de vida dos produtos, o poder de barganha do consumidor, a gestão de estoques, o crescimento da biotecnologia, o aumento da concorrência e, principalmente, da concorrência de baixo custo com os produtos genéricos vem interferindo nesse mercado.

Os preços da indústria farmacêutica são baseados na relação custo-eficiência e nas considerações de valor em uso comparadas aos tratamentos alternativos, caso existam. Devido aos elevados custos em pesquisa e desenvolvimento envolvidos na produção, que duram de meses a anos, de um novo medicamento ou vacina, a proteção da propriedade intelectual se torna muito importante.

Inovação, desenvolvimento de produtos, diferenciação, preço, atendimento ao cliente e atuação geográfica são os principais critérios de competitividade nesse setor.

Por isso, assim como no segmento de consumo, a preocupação com a consolidação das marcas, canais de distribuição e propagandas é significativa nesse segmento.

A tecnologia é essencial na indústria farmacêutica por estar diretamente ligada a competência chave desse segmento que é a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos. O alto valor agregado de seus produtos é obtido através da exclusividade da formulação, que só são possíveis graças a dificuldade de replicar um medicamento, seja devido à complexidade tecnológica ou a impossibilidade legal devido às patentes.

Equipamentos e técnicas mais avançadas são um diferencial competitivo bastante relevante nesse setor, por ampliar as possibilidades e reduzir o tempo de pesquisa e desenvolvimento de produtos. Com o crescimento da biotecnologia, área de conhecimento focada no desenvolvimento de tecnologia produtiva utilizando sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados, novas possibilidades surgem nesse segmento.

Com a expiração da cobertura de muitas patentes, o número de genéricos, remédios produzidos por empresas diferentes da responsável pelo seu desenvolvimento, que tendem a custar menos por não terem tido os gastos de pesquisa e regulamentação incluídos no seu preço, tem crescido consideravelmente.

A presença dos genéricos aliado ao avanço de farmácias online e sites de “*business-to-business*” (*B2B*), que alteram a logística de distribuição tradicional, tem contribuído para o crescimento da competição no setor, provocando a queda dos preços originais e, conseqüentemente, das margens de lucro.

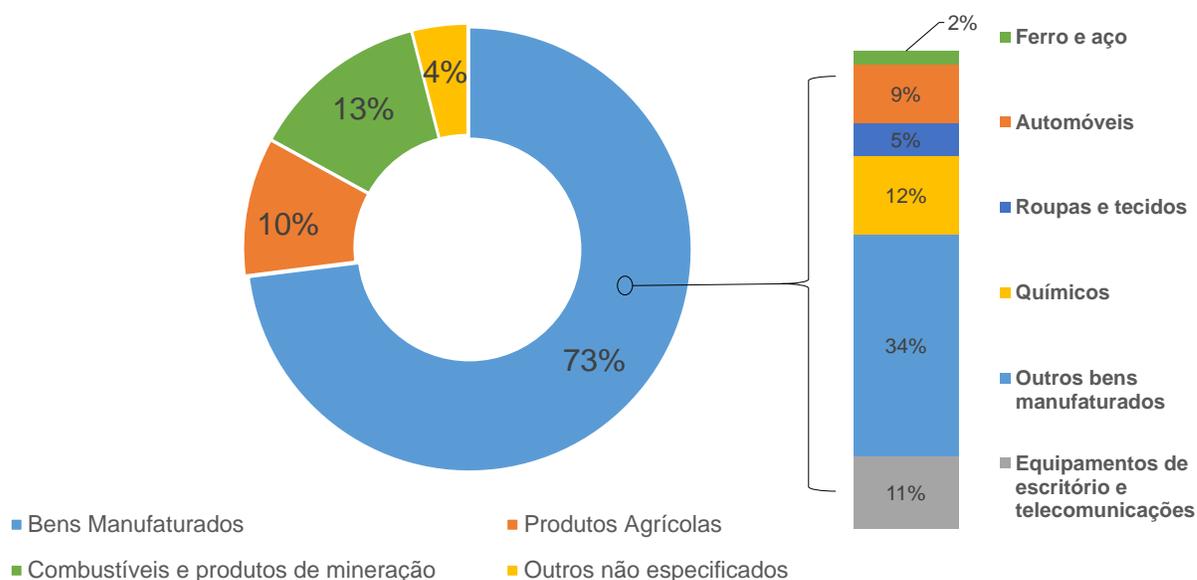
O aumento da competição pressiona as empresas a desenvolverem novos produtos de maneira mais rápida, barata e sustentável, atendendo assim as exigências do mercado e mantendo a lucratividade do setor.

III.2 O Mercado

A indústria química fornece produtos e serviços para quase todas as outras indústrias, estando diretamente ligada a produção de cerca de 96% de todos os bens manufaturados (ACC, 2017). Muitos produtos da indústria química podem ser ao mesmo tempo produtos finais comercializáveis e intermediários de outros processos produtivos, por isso além dos produtos químicos serem parte da categoria de bens manufaturados, eles ainda servem como matéria prima ou intermediários para a produção de diversos outros bens manufaturados.

O gráfico III.1 abaixo, apresenta a distribuição das exportações mundiais no ano de 2016 por grupo de produtos. Nele, é possível observar que 12% das exportações mundiais são das vendas diretas de produtos químicos, porém a indústria química ainda é um fator chave para diversos outros setores, como a indústria têxtil, que representa 5% do mercado mundial, a agricultura, 10% das exportações e da indústria automotiva, que representa 9% do total de exportações.

Gráfico III.1 – Exportação Mundial por Segmento em 2016



Fonte: WTO, 2017

A indústria química faz parte do processo produtivo de vários produtos de consumo final como a fabricação de móveis, eletrodomésticos, papel, computadores, equipamentos médicos, e, ainda atuar em indústrias como a de construção civil e a alimentícia. Além disso, a indústria química ainda é responsável por produtos de consumo como os de higiene pessoal, cosméticos e farmacêuticos. Essa participação ativa da indústria química em tantos setores é possível devido a versatilidade de seu portfólio de produtos e justifica a sua relevância para a economia mundial.

A seguir serão analisadas as características principais do mercado do setor químico a nível mundial e nacional. Para a realização da análise foram coletados dados de diferentes países, porém como cada país tem um critério diferente para a segmentação da sua indústria química, foi necessário padronizar o critério de divisão para possibilitar a comparação entre os dados. O critério escolhido, foi a divisão criada pelo *American Chemistry Council*, já utilizada nesse capítulo.

Os segmentos utilizados para as análises a seguir serão: químicos de base, especialidades, agrícola e consumo. O segmento farmacêutico não será analisado, pois muitos países não o incluem nas suas análises setoriais, como o CEFIC, Conselho da Indústria Química Europeia¹⁶, e a JCIA, Associação das Indústrias Químicas Japonesas¹⁷, e conseqüentemente, não possuem os dados relevantes ao mesmo. Como o objetivo da análise é a comparação entre o mercado mundial e o brasileiro, os dados coletados foram trabalhados de forma a possibilitar a comparação entre eles.

III.2.1 A indústria química mundial

Em 2016, as vendas de produtos químicos totalizaram 3,360 bilhões de euros, dos quais 1,331 bilhões de euros foram da China, líder do mercado nos últimos anos (CEFIC,2017), sendo responsável por quase 40% do valor total de vendas. O total de

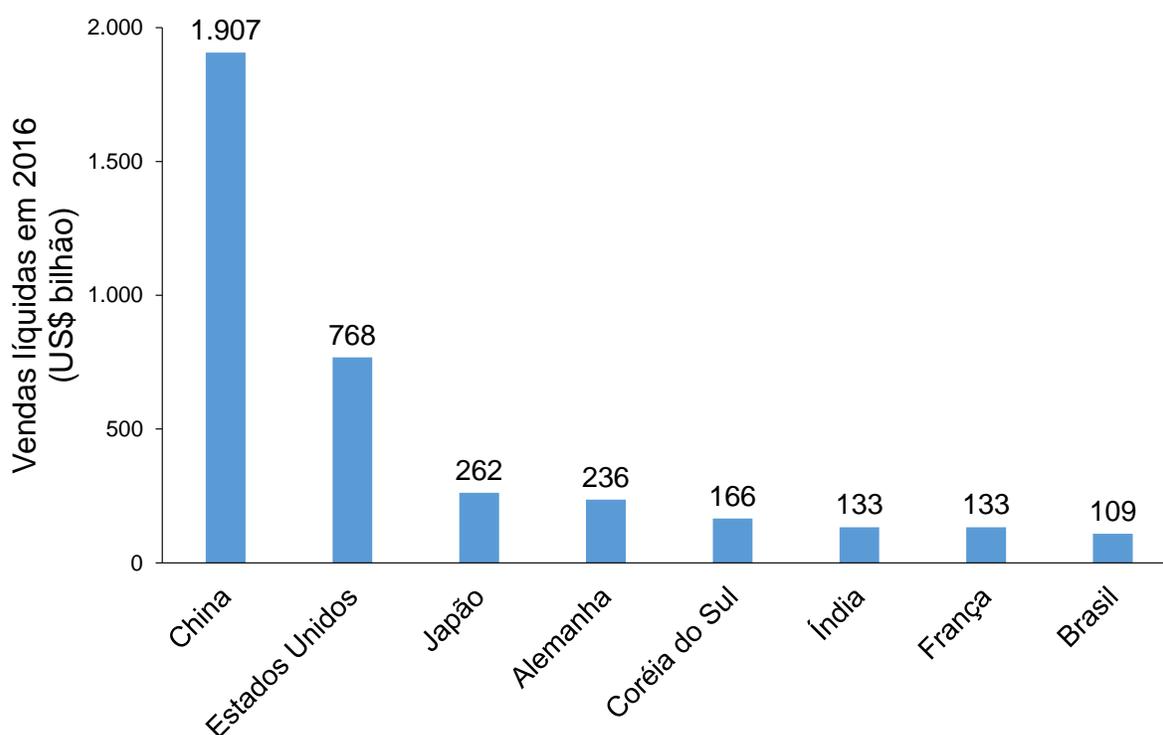
¹⁶ CEFIC é a sigla para *Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique*

¹⁷ JCIA é a sigla para *Japan Chemical Industries Association*, também conhecida como *Nikkakyo*

vendas da China em 2016 é superior à soma das vendas dos 9 países seguintes no ranking de vendas, como mostrado no gráfico III.2 a seguir.

Ainda é possível observar que o Brasil ocupa a oitava posição do ranking, sendo responsável por cerca de 1,8% do valor total de vendas e a maior indústria química do hemisfério sul.

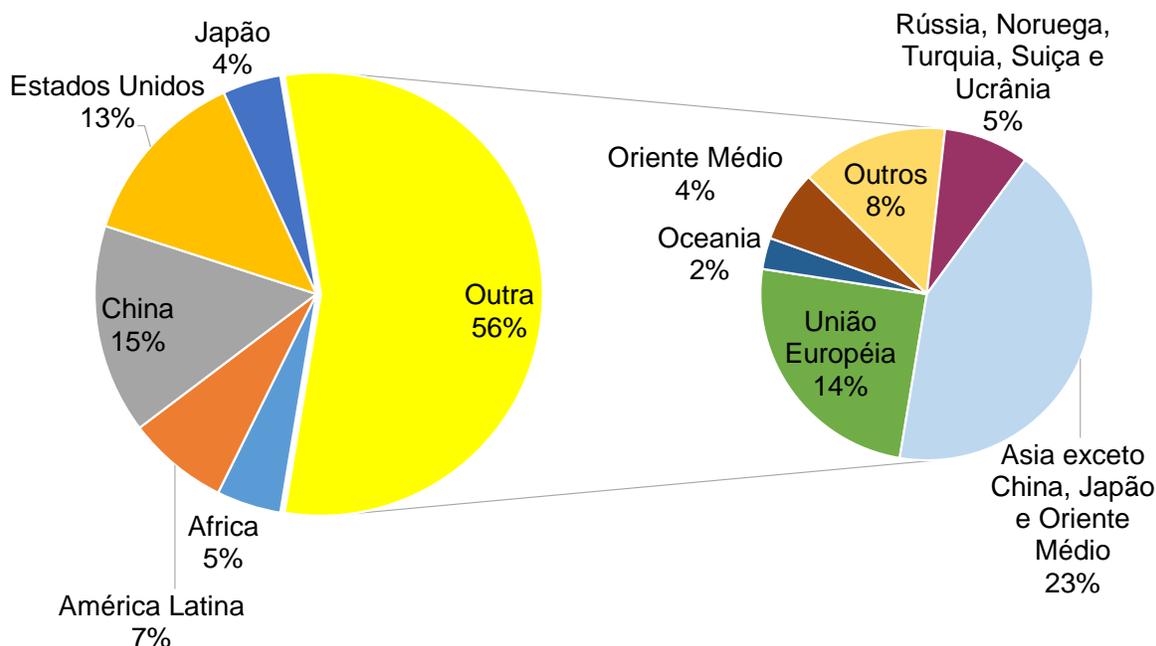
Gráfico III.2 – Vendas líquidas da indústria química por país em 2016



Fonte: ABIQUIM, 2018

Apesar de terem o maior volume de vendas, China e Estados Unidos também são os maiores mercados consumidores da indústria química, no gráfico III.3 a seguir temos a distribuição das importações do segmento pelos países ou macrorregiões. A China é responsável por 15% de todas as importações do segmento, enquanto os Estados Unidos vêm logo atrás com 13%.

Gráfico III.3 – Importações da Indústria Química por país ou macrorregião em 2015

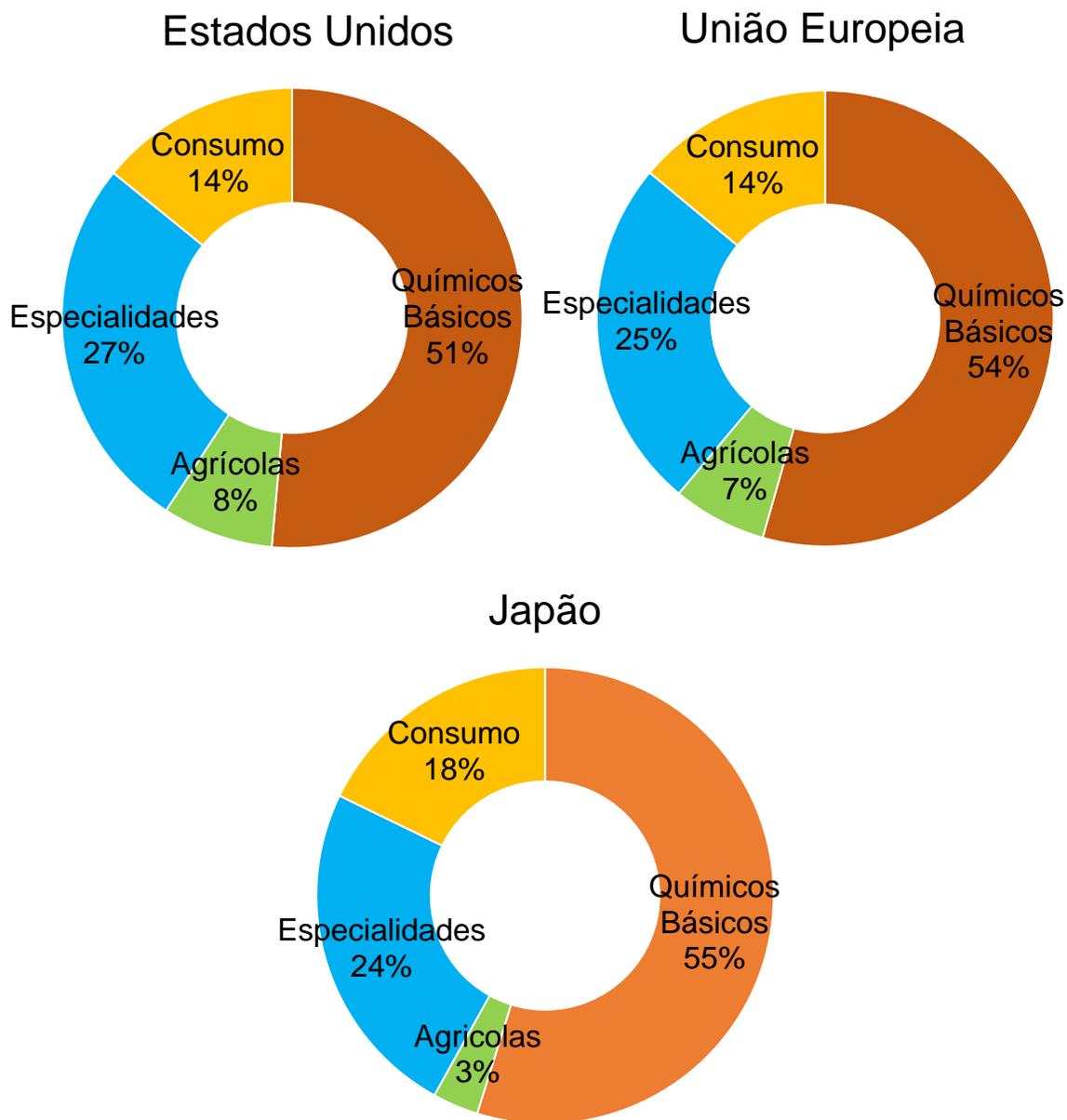


Fonte: CEFIC, 2017

O mercado mundial é dominado pelos químicos básicos, correspondendo a mais da metade do total de vendas de químicos. Esse segmento é intensivo em capital e energia e possui processos com menor exigência tecnológica, do que outros segmentos, como o de especialidades e o farmacêutico, o que o torna o segmento de entrada ideal para os países. Além disso, seus produtos são intermediários e matéria prima para diversas outras indústrias, inclusive dentro da própria indústria química, além de serem produzidos e comercializados em larga escala, justificando, assim, a sua predominância.

Essa tendência do mercado mundial, também é observada na estrutura da indústria química de vários países. No gráfico III.4, a seguir estão representadas as vendas das indústrias químicas dos Estados Unidos, União Europeia e Japão, por setor. Os químicos básicos são responsáveis por mais da metade do mercado, enquanto as especialidades ocupam cerca de um quarto das vendas, seguido pelo segmento de consumo e por último, o segmento agrícola.

Gráfico III.4 – Vendas da Indústria Química por setor em 2016: Comparativo entre as indústrias químicas europeia, americana e japonesa.



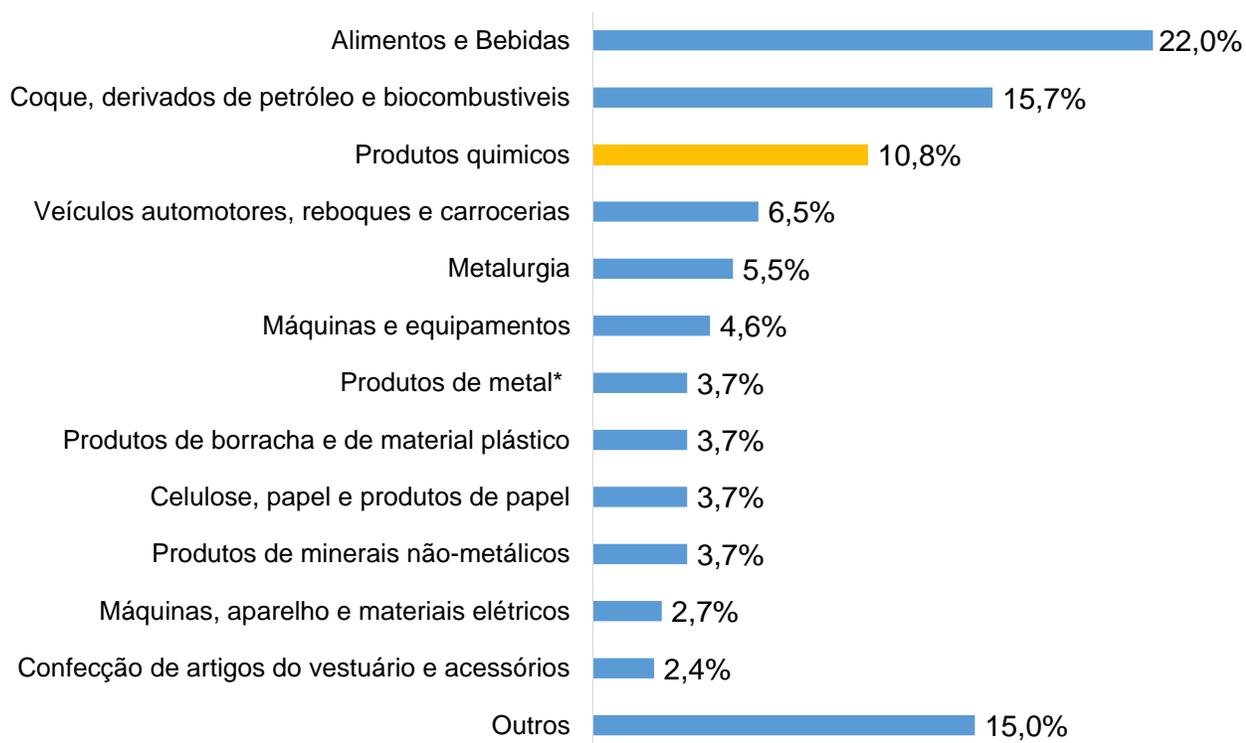
Fonte: AAC, 2017; CEFIC, 2017; JCIA, 2018.

III.2.2 A indústria química brasileira

No Brasil, a indústria química contribui significativamente para a composição do PIB, chegando a em 2016, representar 2,4% do PIB total (ABIQUIM, 2018). A relevância da indústria química brasileira para a produção nacional fica mais clara, quando observada a sua contribuição para o PIB Industrial.

Abaixo, no gráfico III.5 estão indicadas as contribuições de cada setor industrial para o PIB Industrial brasileiro. A indústria química, incluindo o segmento farmacêutico, representa quase 11% da indústria nacional, sendo assim, a terceira maior contribuinte para o PIB Industrial brasileiro em 2015.

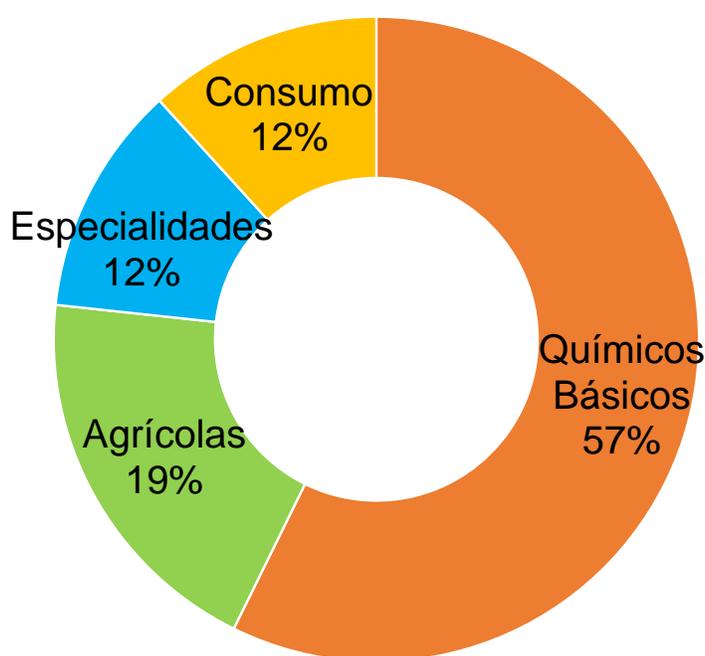
Gráfico III.5 – Contribuição de cada setor na Indústria de Transformação Brasileira em 2015 (% sobre o PIB Industrial)



Fonte: (IBGE – PIA Empresas Unidade de Investigação: Unidade local industrial, 2015)

O perfil da indústria química brasileira é um pouco diferente do encontrado anteriormente na análise da indústria mundial. O segmento de químicos básicos continua sendo responsável por mais da metade do mercado, porém, diferentemente dos países analisados anteriormente, o segmento de especialidades não ocupa a segunda posição, e sim o setor de produtos agrícolas, com 19% do mercado, como indicado no gráfico III.6, a seguir.

Gráfico III.6 - Vendas da Indústria Química Brasileira por setor em 2016



Fonte: (ABIQUIM, 2018)

A agropecuária é um setor de grande relevância na economia brasileira, compondo quase 6% do PIB nacional, e sendo o único dos três setores, agropecuária, indústria e serviços, que apresentou crescimento em 2017 (IBGE, 2017). O agronegócio, que envolve as atividades primárias realizadas no estabelecimento, as atividades de transformação e de distribuição, chega a contribuir com 24% do PIB. A grande importância desse setor no mercado nacional é responsável pelo crescimento do segmento brasileiro de produtos químicos agrícolas.

IV. Análise dos segmentos

Com uma melhor compreensão da indústria química é possível identificar as oportunidades que surgem com a nova revolução industrial. A seguir serão analisados os possíveis impactos da "Indústria 4.0" na indústria química, seus benefícios e as oportunidades para o desenvolvimento de cada segmento.

IV.1 As Tendências da Indústria Química 4.0

A indústria química foi uma das primeiras a utilizar tecnologias digitais extensivamente. Sensores, controladores, plantas automatizadas e a coleta e análise de dados para otimizar seus processos fazem parte da realidade do setor há mais de 40 anos, como descrito por Seborg (2009, p.59):

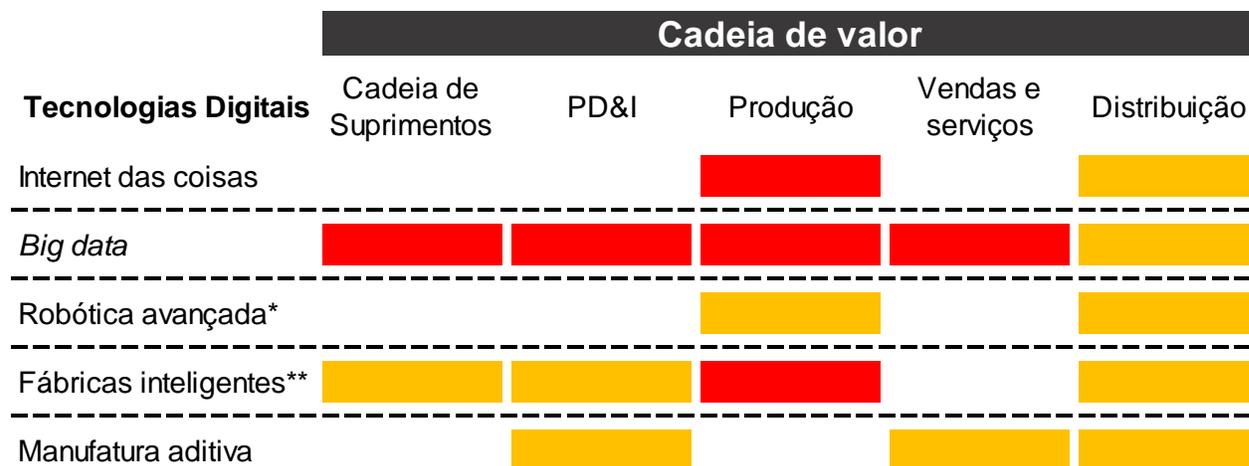
The first digital computer control applications were reported in the late 1950s and early 1960s.[...] These early computers were mainly used for data acquisition and as information systems. Automatic chemical composition analyzers that could be used "on line" as part of a feedback control system, were introduced during the 1960s. Simple digital devices, called programmable logic controllers (PLCs), became available in the 1970s.

Contudo, ultimamente, muitos setores ampliaram o uso da tecnologia digital tanto para otimizar suas operações quanto para gerar novo valor e engajar os consumidores, tirando, assim, a posição de liderança no quesito digitalização que a indústria química costumava possuir. Esses novos usos da tecnologia digital se apresentam como uma oportunidade para que as empresas se destaquem dentro do mercado, especialmente quando as fontes de vantagens competitivas tradicionais, como tecnologia de processos, acesso a matéria prima e ao mercado, se tornam bem estabelecidas. Tornando o ambiente favorável para o surgimento de novos modelos de negócios (PORTER et al., 2016).

Com todas as tecnologias e estratégias trazidas pela "Indústria 4.0" e as mudanças causadas por elas no mercado, nos processos produtivos e nos modelos de negócios, surge a necessidade da indústria química se adaptar à nova realidade. Para

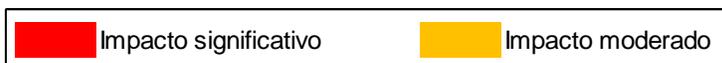
que essa adaptação ocorra é preciso primeiro identificar os possíveis impactos dessas inovações tecnológicas no setor. Na figura IV.1, abaixo, estão relacionadas algumas das principais novas tecnologias e o seu impacto nas diferentes etapas da cadeia de valor da indústria química.

Figura IV.1 – Impacto das tecnologias habilitadoras na cadeia de valor da indústria química



*Robôs autônomos

** Obtida através da combinação das tecnologias em nuvem, sensores e controladores, sistemas ciberfísicos, IoT e da integração vertical e horizontal



Fonte: Adaptado de Porter et al., 2016

Os principais impactos observados na indústria química estão relacionados a tecnologia de *big data*. Ao longo de toda a cadeia de valor existem oportunidades para o aumento da eficiência através da coleta e análise dos dados. As plantas químicas já geram grandes volumes de dados continuamente, porém esses dados não são utilizados de maneira efetiva. Com a tecnologia de *big data*, os dados coletados e analisados são utilizados para encontrar maneiras de reduzir os insumos, aumentar a produtividade, prever demandas e necessidades de manutenção (VAN THIENEN et al., 2016).

Com a implementação das tecnologias digitais se destacam três áreas estratégicas, que apresentam as maiores oportunidades para a indústria química, são elas: relacionamento com cliente; operações e produtos e serviços. A primeira, busca estreitar o relacionamento com o cliente, possibilitando um melhor entendimento das suas necessidades. A segunda, propõe processos flexíveis e conectados ao longo de toda a cadeia de valor (KELLER et al., 2015). E a terceira, associa os dados coletados pela primeira e a flexibilidade da segunda para desenvolver novos produtos e serviços de maneira mais rápida, tecnológica e adequada as demandas individuais.

Dentro dessas três áreas existem muitos temas, que utilizam as soluções digitais disponíveis, apontados como tendências da indústria química. Cada tema propõe um conjunto de atividades que auxiliaria as empresas a desenvolver as competências necessárias para acompanhar a transformação industrial em andamento.

O quadro IV.1, a seguir, traz uma seleção de temas, suas atividades chaves e benefícios, além da relação com as três áreas estratégicas. Os temas foram selecionados a partir das tendências apontadas por Bieringer, Buchholz e Kockmann (2013), Wehberg (2015), Crabtree et al. (2015), Taylor et al. (2015), Keller et al. (2015) , Porter et al. (2016) e Baldea et al. (2017).

Quadro IV.1 – Atividades chaves na Indústria Química 4.0

| Área | Tema | Atividades | Benefícios |
|--|------------------------------|---|---|
| Cliente Operação | Cadeia de Valor | <ul style="list-style-type: none"> Rastrear e definir os pedidos de clientes e fornecedores e a produção diariamente | <ul style="list-style-type: none"> Gestão eficiente das mudanças na demanda e os respectivos ajustes no processo; Gestão eficiente de recursos. |
| Cliente Operação Produtos e Serviços | Logística | <ul style="list-style-type: none"> Monitorar a capacidade de carregamento e a utilização nos transportes; Monitorar os produtos da produção até a entrega. | <ul style="list-style-type: none"> Redução dos custos relacionados e das emissões de CO₂ devido ao uso eficiente da capacidade; Fornecimento de um novo serviço: acompanhamento do pedido. |
| Operação | Manutenção preditiva | <ul style="list-style-type: none"> Uso de sensores e análise de dados coletados para definir o ciclo de vida dos equipamentos e suas necessidades de manutenção | <ul style="list-style-type: none"> Previsão de gastos facilitada; Consumo dos recursos de forma eficiente e no tempo certo; Evita “<i>shutdowns</i>” não planejados. |
| Cliente Operação Produtos e serviços | Customização em massa | <ul style="list-style-type: none"> Planejamento e controle da produção flexíveis com módulos multi-função independentes | <ul style="list-style-type: none"> Customização de acordo com as necessidades do cliente, mas com a estabilidade de custos da produção em massa. |
| Operação Produtos e serviços | Produção em módulos | <ul style="list-style-type: none"> Divisão da produção em módulos, que podem ser conjunto um de operações unitárias, uma única ou parte de um operação unitária. Esses módulos podem ser combinados de acordo com as exigências do processo | <ul style="list-style-type: none"> Mais rapidez no processo de desenvolvimento de produtos; Permite a redução da escala para atender a demanda; Permite a manutenção contínua; Evita a formação de grandes estoques, aumentando a eficiência. Facilita a customização. |

Fonte: Bieringer, Buchholz e Kockmann (2013), Wehberg (2015), Crabtree et al. (2015), Taylor et al. (2015), Keller et al. (2015), Porter et al. (2016) e Baldea et al. (2017).

A principal empresa mundial da indústria química, em termos de vendas, a alemã BASF (TULLO, 2017), tem destacado em suas comunicações públicas a prioridade conferida à expansão do seu processo de digitalização na sua cadeia de valor. Entre as

muitas iniciativas da empresa estão o uso de “*big data*” tanto nas etapas de desenvolvimento de produtos quanto no processo produtivo, inclusive com a implementação da manutenção preditiva (NETZER, 2018).

IV.2 Oportunidades para a Indústria Química por segmento

Devido a sua grande diversidade, cada segmento da indústria química apresentará uma reação diferente às novas tecnologias digitais. Nesta seção, serão propostas as principais oportunidades para a indústria química em cada segmento, a partir da análise de cada um deles e sua compatibilidade com cada tendência apontada anteriormente.

IV.2.1 Químicos básicos

O segmento de químicos básicos apresenta como principal desafio a redução dos custos de produção, especialmente dos custos ligados ao alto consumo de suas matérias primas e energia. Uma solução para o aumento da eficiência nessa questão seria a implementação das tecnologias digitais, como “*big data*”, sistemas de monitoramento e de controle ao longo de toda a cadeia de valor.

Atualmente, a maior parte das plantas químicas tem sistemas de monitoramento e coleta de dados. Grandes quantidades de dados são geradas, mas muitas vezes são descartadas antes de serem efetivamente analisadas (KLEI et al., 2017). Ao implementar a tecnologia de análise de “*big data*” todas as informações coletadas poderão ser analisadas e permitir a adoção de ações para reduzir custos e aumentar a produtividade.

A análise histórica desses dados associada ao monitoramento em tempo real das variáveis de cada etapa do processo de produção, possibilitaria uma gestão eficiente do consumo de matéria-prima e energia, aumentando a produtividade individual de cada etapa e, conseqüentemente, de todo o processo. O consumo de energia, que é particularmente alto no segmento, pode ser reduzido pelo ajuste do tempo de operação das unidades. A melhor compreensão do processo e os sistemas de controle individuais, permitiria que cada equipamento só ficasse ligado durante o tempo necessário para sua operação.

Outra vantagem da análise de dados ao longo do processo de produção, é a manutenção preditiva, que utiliza os dados históricos de produtividade de todas as unidades de produção e seus equipamentos. Essa análise possibilitaria a previsão da vida útil do equipamento e as suas possíveis falhas. Essa previsão facilitaria a identificação do problema, reduziria o tempo de manutenção, possibilitaria o aumento da vida útil e evitaria pausas não programadas na produção devido a falhas de equipamentos.

Ao reduzir o consumo de energia e insumos, o tempo de parada e de manutenções, os custos de produção caem também. Contudo, essas não são os únicos benefícios que a integração e monitoramento da cadeia de valor podem oferecer para o segmento. Conectando todas as etapas, desde o pedido até a entrega, surgiria a possibilidade de fornecer aos clientes funcionalidades como acompanhamento do pedido, garantia de entrega e redução do tempo de provisionamento, ao facilitar a transferência de informações (DILDA et al., 2018). Além de simplificar a relação de compra e venda, ainda resultaria da otimização de toda a cadeia de valor.

IV.2.2 Especialidades

O segmento de especialidades químicas se destaca pelos produtos com alto grau de diferenciação produzidos em pequena quantidade. A grande variedade de produtos e de concorrentes desse segmento, traz alguns desafios, como o aumento da eficiência da produção, redução do tempo de desenvolvimento de produtos, estreitamento da relação entre a empresa e o cliente e expansão do portfólio.

O aumento da eficiência da produção poderia ser alcançado com a integração da cadeia de valor, da mesma maneira que no segmento de químicos básicos. Essa integração ainda permitiria a coleta e análise de dados, possibilitando uma melhor compreensão das necessidades dos clientes e dos seus setores, auxiliando na previsão de futuras demandas.

Com o entendimento das demandas, atuais e futuras, o desenvolvimento de produtos seria direcionado para atender essas previsões. Através dos recursos de simulação e realidade aumentada, as etapas desse desenvolvimento de produtos

poderiam ser mais rápidas, além de estarem diretamente conectadas à produção e compartilhando informações, antecipando as etapas de planejamento na cadeia de valor.

O desenvolvimento mais rápido de produtos, contribui para a criação de um portfólio mais diversificado, contudo para que isso aconteça é necessário que a linha de produção e a utilização dos seus equipamentos seja suficientemente flexível para atender as exigências de cada produto. Essa flexibilidade poderia ser alcançada com a implementação da produção modular, que permite tanto a customização dos processos, para atender as necessidades de produtos diferentes, quanto a produção em larga e pequena escala.

IV.2.3 Agrícolas

O segmento de produtos químicos agrícolas tem características e desafios bem similares aos encontrados nos segmentos de químicos básicos e especialidades, e, conseqüentemente, as oportunidades também. Porém, o diferencial desse segmento é sua relação direta com a agricultura, e a implementação das novas tecnologias digitais no setor pode afetar diretamente o segmento de químicos agrícolas.

Novos sensores seriam capazes de coletar dados geológicos e meteorológicos, além de medir a composição dos nutrientes do solo, as condições das sementes e o desenvolvimento da maturidade das plantas. Todas essas informações coletadas seriam utilizadas para definir as características e quantidades necessárias de fertilizantes e defensivos para cada microrregião da plantação.

Ao mesmo tempo que esses dados poderiam ser utilizados para estimular o desenvolvimento de produtos químicos agrícolas customizados para cada plantação, eles também podem reduzir significativamente a demanda desses produtos. Com o aumento dos dados coletados e os avanços da biotecnologia, outro grande desafio para os produtos químicos agrícolas é o desenvolvimento de transgênicos que modificam o uso de fertilizantes, e principalmente, de defensivos agrícolas.

IV.2.4 Consumo

A principal característica do segmento de consumo é o seu público alvo. Atender às demandas geradas pela diversidade do seu público alvo é o principal desafio do segmento. Atualmente, um novo perfil de consumidor surgiu, mais informado, mais interessado nas origens das matérias primas e dos processos de produção, mais impaciente e mais exigente.

Para satisfazer às exigências desse novo consumidor, as empresas precisarão ser mais rápidas, mais transparentes, mais flexíveis, mais conectadas e oferecer um portfólio de produtos mais amplo e de alta qualidade. Essas mudanças precisam acontecer em toda a cadeia de valor, incluindo o desenvolvimento de produtos, a seleção e compra da matéria prima, o processo de manufatura, embalagem, marketing, logística e vendas, esses últimos de extrema relevância por serem fatores diferenciais no segmento.

Uma cadeia de valor integrada com a internet das coisas, “*big data*”, realidade aumentada e manufatura aditiva, associada a um processo de produção modular, seria uma solução para suprir essas novas demandas e garantir uma produção flexível e eficiente. O objetivo dessas transformações seria aprimorar a experiência do cliente, que é a variável principal desse segmento.

A coleta e a análise de dados seriam utilizadas para entender os perfis de cada grupo de clientes e desenvolver produtos adequados a esses perfis. Para reduzir a duração das etapas de desenvolvimento de produtos, recursos como realidade aumentada e simulação seriam implementados. A realização dos testes de protótipos a partir dessas tecnologias, reduziria não só a duração dessa etapa, como também os custos.

Os produtos, cada vez mais personalizados, exigiriam uma produção mais flexível capaz de atender à todas as diferenciações de produtos, como cores, tonalidades, fragrâncias e embalagens. A linha de produção passaria a contar com módulos controlados individualmente, facilitando o processo de mudança entre produtos produzidos.

A cadeia de valor conectada ainda apresenta duas outras oportunidades, uma é oferecer ao consumidor dados sobre toda a trajetória de produção, tornando o processo mais transparente, o que contribui para o estreitamento da relação entre a empresa e o consumidor e a segunda, é o crescimento do *e-commerce*. Com o aumento dos dados coletados e analisados seria possível atender às exigências de grupos específicos de clientes e implementar conexão direta, sem o uso de distribuidores. Assim, as empresas do segmento desenvolveriam um foco “*B2C*”, além do “*B2B*” tradicional.

IV.2.5 Farmacêutico

Os principais desafios para o segmento farmacêutico se encontram nas altas barreiras regulatórias, na gestão de estoques, na relação com os clientes, nos longos processos de desenvolvimento de produtos e no aumento da concorrência. Assim, como os outros segmentos, a indústria farmacêutica também busca aprimorar a qualidade de seus produtos, aumentar a eficiência de sua produção, reduzir o descarte e o consumo de recursos. A Indústria 4.0 se apresenta como uma ferramenta para lidar com esses desafios.

O monitoramento contínuo em tempo real dos equipamentos e processos, através do conjunto de sistemas ciberfísicos, sensores e controladores que formam a fábrica inteligente, permitiria o acompanhamento de parâmetros específicos ao longo do processo de produção, além da manutenção preditiva dos equipamentos. Esse monitoramento realizado junto com a tecnologia de *big data*, que coleta e analisa o grande volume de dados gerados, possibilitaria a previsão de desvios das especificações, o monitoramento e rastreamento das etapas de produção de cada lote e a realização de ajustes necessários para evitar a perda do produto e gastos com a produção.

A coleta e acompanhamento dos dados não traz oportunidades, apenas na produção. Os produtos farmacêuticos apresentam importantes condições de armazenamento, como temperaturas específicas. Com os sensores e a conectividade, possibilitada pela internet das coisas, seriam desenvolvidas ferramentas inteligentes para o monitoramento dessas condições e do tempo de prateleira dos produtos para garantir

a segurança dos produtos. Todos esses dados poderiam ser utilizados para a gestão da documentação necessária para atender às exigências regulatórias.

O estreitamento do relacionamento com o cliente seria uma das principais características da nova indústria química. No segmento farmacêutico, a proximidade com o cliente se apresentaria como uma vantagem competitiva nos mercados já estabelecidos, porém, com o crescimento da oferta de genéricos, esses mercados se tornam menos atrativos para as grandes empresas farmacêuticas. Porém, uma mudança de paradigma da indústria farmacêutica está possibilitando o surgimento de novos mercados, menores e mais específicos, onde a proximidade com o cliente para melhor entender suas necessidades seria essencial.

A nova indústria farmacêutica sairia da produção em massa para se concentrar na oferta de medicamentos especializados para grupos menores de pacientes, ou seja, nichos de mercado. O surgimento dessa medicina especializada tornaria os tratamentos mais eficientes e levaria à produção de fármacos para doenças específicas que anteriormente poderiam não ser economicamente interessantes.

Os medicamentos individualizados exigem uma menor escala de produção e menores custos de desenvolvimento, apesar de apresentarem uma maior complexidade, uma vez que o tamanho reduzido do mercado para cada medicamento não seria suficiente para tornar essa produção economicamente vantajosa com as atuais condições de produção e desenvolvimento de produtos. A “Indústria 4.0” pode contribuir para a solução dos desafios da medicina individualizada.

A automação e a produção modular, propostas pela nova revolução, possibilitariam a redução do tempo de desenvolvimento de produtos, que resultaria na redução de custos e customização da produção. Os módulos poderiam ser combinados, de acordo com o processo, permitindo a produção de pequenas quantidades com as vantagens econômicas da produção em larga escala. Eles ainda permitiriam que em linhas específicas mais de um medicamento especializado fosse produzido sem contaminação do produto, e, conseqüentemente sem comprometer a qualidade da produção.

O “segmento farmacêutico 4.0” seria caracterizado por um foco em nichos de mercado com processos individualizados e digitais. A introdução das tecnologias habilitadoras na indústria e de um modelo de negócios orientado para grupos específicos de clientes seriam as etapas principais para as empresas se adaptarem à essa nova realidade do segmento.

IV.3 Potencialidades da Indústria Química Brasileira

A indústria química brasileira, definida neste trabalho pelas empresas com unidades industriais operando no Brasil, alcançou em 2016 a 8ª posição mundial em vendas, com um faturamento líquido superior à 100 bilhões de dólares. Essa posição, não leva em consideração a contribuição do segmento farmacêutico, que ainda acrescentaria algo em torno de 14 bilhões de dólares ao total, sendo responsável por 13% do faturamento líquido total da indústria química, a terceira maior contribuição, atrás apenas dos segmentos de químicos básicos, 48%, e o de produtos agrícolas, com 17% (ABIQUIM, 2018).

Apesar do grande volume de vendas, o valor do déficit comercial de produtos químicos, ultrapassa US\$ 15 bilhões anuais nos últimos oito anos. O volume de importações confirma o potencial de crescimento do mercado interno.

O Brasil conta com mais de 6 milhões de micro, pequenas e médias empresas, cerca de 5% dessas no setor químico (DELOITTE, 2017). O aumento da produtividade e da competitividade dessas mais de 300 mil empresas, poderia resultar na redução desse déficit comercial e no crescimento da indústria química brasileira.

Porém, o relatório da ABIQUIM mostra uma redução significativa dos investimentos programados até 2022 no segmento de produtos químicos de uso industrial¹⁸, que compreende o segmento de químicos básicos, responsável por quase metade do faturamento do setor químico no Brasil.

¹⁸ ABIQUIM, “O desempenho da indústria química em 2017”, pág. 13.

Sem novos investimentos, a expectativa de uma nova indústria química nacional mais eficiente, tecnológica e competitiva capaz de reduzir o déficit comercial perde forças e aumenta as incertezas quanto ao futuro do desempenho da economia brasileira e particularmente na indústria química.

V. Estratégias Globais

A proposta da quarta revolução industrial traz um significativo impacto potencial nos mais diversos setores da sociedade. Klaus Schwab, presidente executivo do Fórum Econômico Mundial, destaca em seu livro *A Quarta Revolução Industrial*, a possível ruptura dos atuais modelos econômicos, políticos e sociais como consequência desta revolução tecnológica.

Para evitar a ruptura abrupta desses modelos, considerada um risco para a “Indústria 4.0” ser bem-sucedida e sustentável tanto econômica quanto socialmente, se faz necessário elaborar estratégias de desenvolvimento capazes de facilitar a transição entre os modelos atuais e os futuros. Movimentações públicas e privadas de incentivo à “Indústria 4.0” já são observadas em diversos países. Cada país e segmento traz uma estratégia diferente que se adequa às suas competências e deficiências.

A seguir, resumiremos as estratégias de cinco países de grande relevância para indústria química 4.0¹⁹, sendo eles os dois precursores da quarta revolução industrial, Alemanha e Estados Unidos, três países asiáticos que são referência em tecnologia, China, Coreia do Sul e Japão e, por último, as estratégias já propostas ou implementadas no Brasil.

V.1 Alemanha

A Alemanha possui uma das indústrias manufatureiras mais competitivas do mundo, sendo referência nos segmentos automotivos, de bens de capital e químico. A Alemanha se apresenta como a segunda maior exportadora de produtos manufaturados, chegando a exportar 1.163 bilhões de dólares em 2016 (WTO, 2016). Além, disso, ainda conta com uma rede de centros de pesquisa e inovação, sendo o mais famoso o

¹⁹ China, Alemanha, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul, são os cinco países com a maior porcentagem de vendas do setor químico em 2016 (CEFIC, 2017)

Fraunhofer²⁰, um sistema educacional dual, que une o ensino tradicional teórico com o aprendizado prático em parceria com as empresas, que fornece mão de obra qualificada para a indústria, e os “*clusters*”, uma associação de empresas, universidades, institutos de pesquisa e outras organizações que atuam no mesmo setor na região.

Visando manter a sua posição de destaque na indústria (ROJKO, 2017), aumentar a competitividade internacional da sua produção, melhorar as condições para a criação de empregos e encontrar soluções para os novos desafios globais como a escassez de recursos, o governo alemão lançou, em 2006, a “*High Tech Strategy*” (KLITOU *et al.*, 2017). Essa foi a primeira iniciativa nacional envolvendo todas os “*stakeholders*”²¹ da tecnologia com um objetivo comum, o de desenvolver novas tecnologias. A proposta era combinar recursos de todos os ministérios do governo para financiar ações de pesquisa e inovação no desenvolvimento de tecnologia de ponta.

Em julho de 2010, foi anunciada a “*High Tech Strategy 2020*”, que expandiu os objetivos definidos na primeira versão, sendo orientado para áreas de interesse prioritárias, no lugar de programas de pesquisa e tecnologias específicas (HARHOFF *et al.*, 2011). A intenção era fortalecer a parceria entre a pesquisa e a indústria, continuar a melhorar as condições para a inovação e liderar a inovação em alguns segmentos

²⁰ A Associação Fraunhofer é uma organização, fundada após a segunda guerra mundial, em 1949, que conta com 72 institutos, mais de 60 deles só na Alemanha, divididos em oito temas que englobam desde informação e comunicação, inovação, defesa e segurança até materiais.

²¹ “*Stakeholders*” é um termo bastante utilizado em gestão de projetos, administração e marketing para descrever indivíduos e organizações que estão ativamente interessados em um projeto ou cujos interesses podem ser positiva ou negativamente afetados pela execução ou conclusão do projeto. Nesse caso, o termo engloba as diversas indústrias, empresas, instituições de pesquisa e de ensino, além do próprio governo, que tem interesse e serão afetados pelas novas tecnologias.

específicos, sendo eles: clima e energia; saúde e nutrição; mobilidade; segurança e comunicação (MACDOUGALL, 2014).

Foi lançado, então, o plano de ação da “*High Tech Strategy 2020*” contendo 10 “*Future Projects*” considerados críticos para a sociedade. A proposta era que cada um desses projetos fosse trabalhado num período de 10 a 15 anos (BMBF, 2010). Os temas apontados no plano de ação foram:

- Cidades eficientes energeticamente, neutras em CO₂ e adaptadas ao clima;
- Transformação inteligente do sistema de abastecimento de energia;
- Recursos renováveis como alternativa aos combustíveis fósseis;
- Tratamentos médicos mais eficientes com uso da medicina individualizada;
- Melhoria na saúde através de prevenção eficiente e dietas saudáveis;
- Vida independente na terceira idade;
- Mobilidade sustentável;
- Serviços baseados na internet para negócios e a indústria;
- Identificação segura;
- Indústria 4.0.

Todos esses projetos estão relacionados à uma de seis tarefas prioritárias: segurança civil; mobilidade inteligente; vida saudável; sustentabilidade; ambiente de trabalho inovador e economia digital (BMBF, 2014). A Indústria 4.0, a principal iniciativa dentro do tema de economia digital, traz como proposta a integração entre mundo físico e do virtual e entre todos os elos da cadeia, possibilitando uma produção flexível de produtos personalizados.

A estratégia alemã entra, então, na sua terceira versão a “*New High Tech Strategy*” que combina as duas versões anteriores. Enquanto a primeira versão, “*High Tech Strategy*”, se concentrava no mercado potencial de áreas tecnológicas específicas,

a segunda, “*High Tech Strategy 2020*”, tinha como foco desenvolver soluções futuras para os problemas da sociedade. A nova versão propõe unir esses focos e apresentar uma política de inovação coerente com esse cenário.

A Indústria 4.0 é apenas uma das propostas da estratégia alemã, que desde seu início em 2011 (MACDOUGALL, 2014), vem ganhando mais atenção, motivando outros países a criarem estratégias de manufatura e desenvolvimento tecnológico para acompanhar a revolução tecnológica liderada pela Alemanha.

V.2 Estados Unidos

A manufatura norte-americana vem perdendo sua relevância na economia nacional. O país, dono da maior economia do mundo, contou com apenas 11,6% de contribuição da manufatura no PIB do país, no ano de 2016, uma contribuição menor do que a dos anos anteriores (BANCO MUNDIAL, 2018). Um dos principais responsáveis pela queda da contribuição da manufatura no PIB foi o *outsourcing*.

Atraídas pelos baixos custos de produção e mão de obra e benefícios oferecidos, as empresas optaram por expatriar suas atividades menos complexas, mantendo apenas as atividades de maior valor agregado, como gerenciais e de desenvolvimento de produto, no país. Com isso, os Estados Unidos sofreram uma redução significativa no setor manufatureiro nacional. Desde o início desse processo, o número de empregos na manufatura tem reduzido, porém, mais recentemente essa queda não está ligada apenas à produção.

Algumas tarefas mais relevantes, que requerem mão de obra qualificada, também foram transferidas para outros países, resultando numa perda de conhecimento acumulado necessário para produzir produtos de ponta criados pelo país (DAUDT; WILLCOX, 2016). Para conseguir continuar criando novas indústrias, gerando novos empregos e garantir a segurança econômica do país é preciso que o EUA seja capaz de implementar novas tecnologias na manufatura (MOLNAR, 2017).

Visando restaurar a liderança norte americana na manufatura, o PCAST, Conselho de Ciências e Tecnologia do Presidente, propôs, em 2011, o desenvolvimento de uma política de inovação focada na manufatura avançada. A Iniciativa de Manufatura Avançada proposta consistia na criação de um ambiente que estimulasse a inovação, contando com apoio para a pesquisa, treinamento e qualificação para a mão de obra além de políticas fiscais. O governo investiria para garantir que novas tecnologias fossem desenvolvidas no país, fornecendo a infraestrutura necessária para o crescimento de empresas de base tecnológica (PCAST, 2011).

Essa recomendação do PCAST resultou na “Parceria de Manufatura Avançada” (AMP). Criando uma parceria entre a indústrias, as universidades e o governo federal, a proposta era investir nas tecnologias emergentes, como tecnologia da informação e nanotecnologia (PCAST, 2012), e, assim, reduzir os custos e melhorar a qualidade da produção, além de acelerar o desenvolvimento de novos produtos e estimular a geração de empregos qualificados na indústria.

A AMP contava com 16 recomendações abordando os temas de inovação, mão de obra qualificada e ambiente favorável para os negócios. Dentro dessas recomendações, se destacam: reforma fiscal para estimular a instalação de empresas e a produção nacional; investimento em universidades comunitárias para ocupar as lacunas de competência na manufatura; aprimoramento dos programas de manufatura avançada universitários e a criação de uma rede de institutos nacionais de inovação em manufatura.

Em 2014, foi aprovada a lei de revitalização da manufatura avançada e inovação. Essa lei, que tem como um dos seus objetivos facilitar a transição entre tecnologias inovadoras e competências manufatureiras de alta performance e eficientes, formalizou a criação da rede de institutos nacionais de inovação em manufatura (NNMI). Os institutos, administrados por uma parceria pública-privada com a participação do governo, da academia e da indústria, fornecem a infraestrutura de pesquisa necessária para o desenvolvimento de soluções para questões relevantes para a indústria, além de funcionarem como centros de qualificação de mão de obra (USA; 2014). Cada um dos 9

institutos fundados até junho de 2016 ²²apresenta um foco particular, como manufatura aditiva, fibras, compósitos e design.

Os institutos contam com mais de 800 empresas e universidades e tem investimentos públicos previstos para os próximos 5 anos de cerca de US\$ 500 milhões e o dobro desse valor de investimentos privados (NIST, 2016). A infraestrutura compartilhada contribui para o desenvolvimento das competências e produtos de pequenas e médias empresas, tornando-as mais competitivas no mercado. Para atrair mais atenção de universidades, empresas e do público em geral, em setembro de 2016, a iniciativa passa a ser chamada de “*Manufacturing USA*”.

V.3 China

A China, com a segunda maior economia do mundo e a maior população, contando com cerca de 18% da população mundial, se destaca pela disponibilidade de mão de obra, a potencialidade do mercado consumidor e o dinamismo de sua economia. Sua economia é caracterizada por um crescimento dinâmico de cerca de 10% de crescimento anual do PIB nos últimos 30 anos (KAGERMANN et al., 2016). A produção industrial é a principal responsável pelo PIB do país, chegando a contribuir com 41% do PIB, em 2017 (BANCO MUNDIAL, 2018).

Produção em massa e barata são as principais características da atual indústria manufatureira chinesa. Essas condições motivaram, inicialmente, muitas empresas estrangeiras a instalarem suas produções na China, o que conferiu a China o título de

²² Os 9 institutos são: o *America Makes—The National Additive Manufacturing Innovation Institute*, que foi o instituto piloto focado em manufatura aditiva; o *DMDII—Digital Manufacturing and Design Innovation Institute*; *LIFT—Lightweight Innovations for Tomorrow*; *PowerAmerica—The Next Generation Power Electronics Manufacturing Innovation Institute* ; *IACMI—Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation*; *AIM Photonics—American Institute for Manufacturing Integrated Photonics*; *NextFlex—America’s Flexible Hybrid Electronics Manufacturing Institute*; *AFFOA—Advanced Functional Fabrics of America Institute*; e o *CESMII—Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute*.

“oficina do mundo”, que também foi usado para descrever a Inglaterra do século XIX. Contudo, a indústria chinesa também é bastante heterogênea.

A indústria chinesa conta com algumas grandes corporações, que são líderes mundiais, com instalações avançadas e produções altamente automatizadas e com pequenas e médias empresas, com muitos processos manuais e pouca ou nenhuma digitalização. Esse segundo grupo, atrasado tecnologicamente, representa a maior parte da indústria da China. Comparado com outras economias, a indústria chinesa é grande, mas não é forte, sendo ainda carente de competências para inovação, gestão de recursos, digitalização e qualidade da infraestrutura industrial (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Buscando aumentar a eficiência, a qualidade e o nível tecnológico da sua manufatura, a China encontrou na Indústria 4.0 as ferramentas necessárias para mudar o perfil da sua indústria de produção barata e em massa para um de alta tecnologia. Nos últimos anos diversas iniciativas surgiram para promover essa transição, algumas delas estão organizadas na figura V.1 a seguir.

Figura V.1 – Linha do tempo do desenvolvimento da Indústria 4.0 na China



Fonte: Adaptado de Kagermann et al, 2016

No quadro V.1 abaixo, estão listadas três das principais iniciativas observadas, elas focam em diversos temas relevantes para a “Indústria 4.0”, entre eles, se destacam

a internet das coisas e a tecnologia de “*big data*”. Devido a característica intervencionista do Estado na China, as iniciativas são, majoritariamente, públicas.

Quadro V.1 – Principais Iniciativas Chinesas

| Iniciativa | Área | Organização |
|--|------------------------|--------------------|
| Centro de Internet das Coisas em Shanghai | Internet das coisas | Pública |
| Fábrica Inteligente 1.0 | Manufatura Big data | Privada |
| <i>Internet Plus</i> | Internet das coisas | Pública |

Fonte: Adaptado de Kagermann et al, 2016

O primeiro centro nacional de internet das coisas foi uma das primeiras movimentações do governo chinês para o desenvolvimento de aplicações práticas de internet das coisas. O centro veio acompanhado de um plano de ação de três anos que priorizava temas como o desenvolvimento de sistemas de prevenção de colisão de carros e eletrodomésticos inteligentes (INOUE; HAYAKAWA; KAMEI, 2011).

Fábrica inteligente 1.0, é um modelo de desenvolvimento da indústria criado pela Aliança de Ciência e Tecnologia de Automação Chinesa (CSAA). O objetivo é ampliar a capacidade de coleta, armazenamento e análise de “*big data*”, um fator chave para o desenvolvimento de fábricas inteligentes. Inicialmente, a proposta era que o projeto durasse até 2020 e fosse substituído pelos projetos “Fábrica inteligente 2.0” e “Fábrica inteligente 3.0” que desenvolveriam outras competências necessárias para a implantação de fábricas inteligentes (KIM, 2016).

Internet Plus é um projeto do governo que propõe a integração entre internet móvel, computação em nuvem, internet das coisas e “*big data*” com a manufatura. Essa proposta visa estimular as vendas pela internet, se aproveitando do grande mercado potencial formado pela maior população de usuários de internet e celulares (KIM,2016). Algumas das medidas desse projeto são: a construção de uma infraestrutura de nuvem e internet das coisas; regulamentação do setor e o desenvolvimento de aplicativos envolvendo dados sobre a saúde, educação e transporte.

Acompanhando essas iniciativas foi lançado, em 2015, o plano estratégico do governo chinês denominado “*Made in China 2025*”. Esse é o primeiro de três estágios do projeto do governo para se tornar líder mundial em manufatura e inovação até 2049²³. Esse primeiro estágio, até 2025, tem como objetivo o desenvolvimento da manufatura chinesa com: foco na melhoria da qualidade e em tecnologias inteligentes; melhoria da eficiência do trabalho e do consumo de energia e material; o avanço da digitalização; redução da poluição; estímulo à inovação e o crescimento das empresas chinesas no mercado internacional (DANIEL; XU, 2018).

O plano conta com cinco diretrizes básicas divididas em nove tarefas estratégicas focadas em dez setores prioritários. As cinco diretrizes básicas se concentram nos temas de inovação, qualidade, sustentabilidade, otimização e qualificação da mão de obra.

Essas diretrizes estão presentes no plano de ação de todas as 9 tarefas estratégicas: desenvolver a capacidade de inovação da indústria manufatureira nacional; integrar a informatização e industrialização; fortalecer as competências básicas industriais; estimular o crescimento das marcas nacionais e a melhoria da qualidade da produção; fomentar a produção “verde”; promover avanços nos dez setores prioritários; reestruturar o setor manufatureiro; incentivar o foco em serviço na indústria manufatureira; e a internacionalização da manufatura chinesa.

Os 10 setores prioritários levantados pelo governo chinês foram: tecnologia da informação; controladores para as máquinas e robótica; aeroespacial; equipamento

²³ A data foi escolhida por ser o centenário da fundação da Nova China, termo usado para descrever a China pós Revolução Comunista.

marinho e embarcações tecnológicas; transporte ferroviário; economia energética e veículos elétricos; equipamento elétrico; tecnologia agrícola; biofármacos e equipamentos médicos; e novos materiais.

Para alcançar seu objetivo, a estratégia chinesa projeta a criação de 40 centros de inovação em manufatura e de 4 centros de pesquisa, chamados de “Quatro bases”, para acelerar o desenvolvimento de componentes, técnicas, materiais e tecnologias de produção chaves.

V.4 Coréia do Sul

A produção industrial da Coréia do Sul contribui significativamente para o PIB nacional,²⁴ sendo, assim, um setor de grande importância do país. Sua indústria conta com grandes conglomerados globais, chamados de “*chaebols*”, e diversas pequenas e médias empresas que atuam como fornecedores locais para estes grandes conglomerados.

Os “*chaebols*” se concentram, primordialmente, nos setores de alta tecnologia e engenharia mecânica, apesar de expandirem sua atuação por outros segmentos, como a indústria química. Esses conglomerados sul-coreanos, como Samsung, LG e Hyundai, são referências mundiais devido a sua alta capacitação tecnológica, além de contarem com fortes investimentos em PD&I e trazerem métodos de produção altamente inovadores nos seus segmentos.

Contando com essa estrutura econômica, as competências nacionais na produção de semicondutores, produtos digitais e as grandes empresas de internet, a Coréia do Sul apresenta um cenário muito favorável para o desenvolvimento da economia digital e, conseqüentemente, da “Indústria 4.0”.

Buscando, principalmente, aumentar a produtividade das suas pequenas e médias empresas, e assim, aumentar sua competitividade frente a pressão de seus

²⁴ De acordo com o Banco Mundial (2018), a indústria é responsável por 36% do PIB da Coréia do Sul

vizinhos China e Japão, o governo sul-coreano lançou em junho de 2014 o projeto "*Manufacturing 3.0*"²⁵. Este projeto desenvolvido pelo Ministério de Comércio, Indústria e Energia da Coréia do Sul conta com a parceria entre o governo, empresas de todos os portes e outras organizações relevantes.

O plano tem quatro pilares principais: serviços, sustentabilidade, plataforma e "smart", se referindo a cidades e fábricas inteligentes. Para alcançar o aumento da produtividade e o desenvolvimento de novos modelos de negócios orientados pela análise do grande volume de dados coletados, o chamado "*data-driven*", que são os objetivos desse projeto, foram criadas diversas iniciativas públicas listadas no quadro V.2 abaixo.

Quadro V.2 – Principais Iniciativas da Coréia do Sul

| Iniciativa | Área | Organização |
|---|--------------------------|-----------------|
| Centros de Inovação em Economia Criativa | Inovação | Público-privada |
| | Indústria 4.0 | |
| | Tecnologia da Informação | |
| Iniciativa de Fábricas Inteligentes | Automação industrial | Público-privada |

Fonte: Adaptado de Kagermann et al, 2016

Os centros de inovação foram criados com o objetivo de apoiar startups do segmento de TI e com propostas de inovação da Indústria 4.0 além de conectá-las a

²⁵ O nome "*Manufacturing 3.0*" foi escolhido, por essa se configurar como a terceira reforma na indústria coreana. A primeira reforma se concentrou na substituição de produtos importados para indústria elétrica e a segunda em equipamentos de montagem.

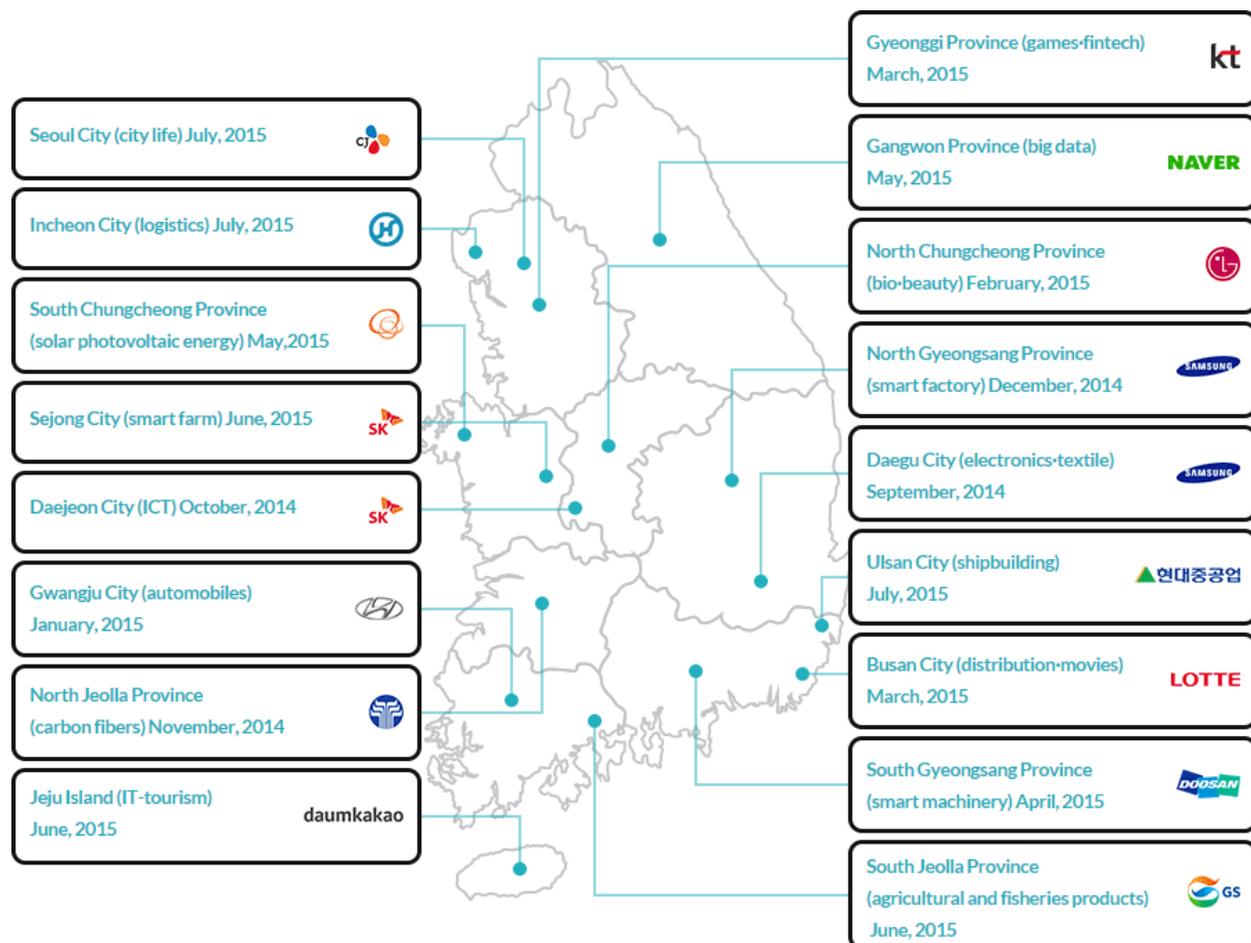
grandes conglomerados e agentes locais. Desde 2014, foram inaugurados 17 centros por todo o território nacional, cada um focado numa competência específica. Todos os centros são operados numa parceria público-privada, sendo cada centro gerido por uma empresa com expertise no segmento.

Na figura V.2, estão indicados todos os centros de inovação criados, levando em consideração sua localização, data de inauguração, segmento de interesse e empresa responsável. A criação dos centros de competência leva em consideração o perfil econômico de cada região e as suas principais atividades econômicas, assim, cada centro é alocado na região mais compatível com seu segmento de interesse.

A combinação entre as características locais e as competências das grandes empresas presentes é responsável pela diversidade dos segmentos de interesse. Estes centros englobam temas como agricultura, pesca, maquinário inteligente, TI, fibra de carbono, logística, eletrônica, “big data”, “*fintechs*”²⁶, jogos, têxtil, logística, cinema, automobilística, energia solar, turismo e cosméticos.

²⁶ *Fintech* é um termo que surgiu da junção das palavras *financial* (financeiro) e *technology* (tecnologia) e é usado para descrever empresas que trabalham para inovar e otimizar serviços do setor financeiro. Usam tecnologias para aumentar a eficiência dos processos e reduzir os custos operacionais.

Figura V.2 – Distribuição dos Centros de Inovação pela Coreia do Sul



Fonte: Ministry of Science and ICP, 2018

Além de atuar com as “startups”, os centros de inovação ainda tem auxiliado pequenas e médias empresas a desenvolver suas competências de inovação e a qualidade de seus produtos. O apoio e patrocínio dos setores público e privado tem possibilitado o financiamento de projetos, tanto de “startups” quanto de pequenas e médias empresas, através dos centros de inovação.

Enquanto os centros de inovação estimulam o desenvolvimento de novas tecnologias, a iniciativa de fábricas inteligentes foi criada com objetivo de alcançar 10.000 fábricas inteligentes em operação até 2020. Esse objetivo foi atualizado em 2017 para 30.000 fábricas inteligentes em operação até 2025, promovendo uma aceleração no

processo de implementação da “Indústria 4.0”. Para isso, o projeto se divide em três etapas denominadas direção, “*smartização*” e infraestrutura.

A primeira consiste na definição e promoção do modelo fabril, o segundo, na customização do modelo em todas as etapas da cadeia de valor para tornar o modelo de fábrica numa fábrica inteligente e o terceiro na criação de certificação, padrões e treinamentos para garantir a segurança e a qualidade da operação.

Atuando em parceria com empresas de diferentes segmentos da indústria, entre eles os fabricantes de controladores, sensores e robôs, o governo coreano auxiliará na construção de fábricas inteligentes para os grandes conglomerados, além de investir em pesquisas em sensores, sistemas ciberfísicos e “*big data*”.

Para atender as exigências de mão de obra que surgirão com a implementação das fábricas inteligentes serão criados cursos de graduação e pós-graduação em, pelo menos, três universidades sul coreanas nas áreas de desenvolvimento de tecnologia e gestão de fábricas inteligentes.

V.5 Japão

O Japão é a terceira maior economia do mundo, perdendo apenas para EUA e China, e tem uma atividade industrial muito diversificada com empresas japonesas sendo bem-sucedidas mundialmente nos setores químico, eletrônico, de engenharia mecânica e automotivo. Devido a longa tradição da indústria manufatureira na economia japonesa, seu alto nível de automação industrial e sua competência tecnológica, o Japão se apresenta como o país mais bem equipado para a quarta revolução industrial.

Desde 2014, o Japão, através dos seus ministérios, empresas privadas, universidades e centros de pesquisas vem realizando iniciativas individuais e coletivas para desenvolver as competências necessárias para a “Indústria 4.0” e, assim, manterem sua posição no mercado mundial. É possível identificar quatro iniciativas públicas e privadas, lançadas entre os anos de 2014 e 2015 significativas para a implementação da nova revolução industrial no país.

Cada iniciativa tem como foco principal algumas questões relevantes da “Indústria 4.0”: automação industrial; big data; inteligência artificial; robôs autônomos; internet das coisas. No quadro V.3 abaixo são listadas quatro iniciativas relevantes, que serão detalhadas a seguir.

Quadro V.3 – Principais Iniciativas do Japão

| Iniciativa | Área | Organização |
|--|---|--------------------|
| Iniciativa e-F@ctory | Automação industrial Fábricas inteligentes | Privada |
| Consórcio de Aceleração de Internet das coisas (IOTAC)²⁷ | Desenvolver a conexão entre IoT, big data e inteligência artificial | Público-privada |
| Iniciativa de Revolução Robótica (RRI)²⁸ | Robótica industrial e aplicada | Público-privada |
| Iniciativa da cadeia de valor industrial (IVI)²⁹ | Padronização | Público-privada |

Fonte: Adaptado de Kagermann et al, 2016

E-F@ctory é uma iniciativa criada pela Mitsubishi Electric para aumentar a performance e produtividade de empresas manufactureiras. Utilizando a expertise

²⁷ Sigla do projeto em inglês, “*Internet of things Acceleration Consortium*”

²⁸ Sigla do projeto em inglês, “*Robot Revolution Initiative*”

²⁹ Sigla do projeto em inglês, “*Industrial Value Chain Initiative*”

desenvolvida internamente para resolver seus problemas de produtividade, a Mitsubishi compilou na e-F@ctory soluções de automatização integradas, que facilitam a troca de informações entre os sistemas de controle e de TI, otimizando a produção.³⁰

O consórcio de aceleração de internet das coisas busca consolidar tecnologias capazes de criar e facilitar novos modelos de negócios baseados na internet das coisas. Para isso, ele apoia atividades externas de desenvolvimento, padronização e demonstração de novas tecnologias relacionadas a internet das coisas, além de criar recomendações regulamentárias para a execução desses projetos.

As atividades da IOTAC ainda incluem esforços para a integração das tecnologias de big data e inteligência artificial com a internet das coisas, a divulgação de informações, estudos a respeito da segurança da informação compartilhada através das tecnologias e propostas de padronização e regulamentação adequadas as exigências de cada projeto.³¹

RRI, a Iniciativa de Revolução Robótica, fundada em 2016, que conta com mais de 500 membros, entre eles 322 empresas, 16 institutos de pesquisa, 10 prefeituras e 3 sociedades de pesquisa, numa estratégia apoiada pelo governo, de competir com os investimentos em robótica de países como Alemanha, Estados Unidos e China, para assegurar a posição de liderança do Japão na área de robótica.

A proposta principal da RRI é, através da cooperação entre seus membros, promover a utilização de robôs, coletar e solucionar questões de inovação em robótica, compartilhar e divulgar boas práticas, planejar verificações e certificações e promover medidas para a qualificação de mão de obra.³²

Em 2017, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria japonês (METI) assinou um acordo de cooperação com o Ministério de Economia e Tecnologia da Alemanha

³⁰ MITSUBISHI, 2018

³¹ BUSINESS SWEDEN TOKYO, 2017

³² ROBOT REVOLUTION INICIATIVE, 2016

(BMW), firmando uma parceria entre a iniciativa de revolução robótica (RRI) e a plataforma “*Industrie 4.0*” (PI 4.0), de forma a facilitar a digitalização da indústria em ambos os países através do compartilhamento de informação. Os planos desse acordo envolvem a criação de um padrão internacional, a liberação de acesso das plataformas nacionais para o país parceiro, a participação das empresas japonesas nos grupos de estudo alemães e vice-versa, a criação de uma base de dados com casos de indústrias alemães e japonesas para incentivar a digitalização em pequenas e médias empresas, além do desenvolvimento de treinamentos para a qualificação da mão de obra.³³

A Iniciativa de cadeia de valor industrial, mais conhecida como IVI, é um fórum responsável por discussões acerca das mudanças que a indústria nacional pode sofrer com a combinação da manufatura e das tecnologias da informação. O principal objetivo desse fórum é construir, através da colaboração entre as empresas, um modelo padrão de conectividade.

O grupo não pretende criar um modelo absoluto, que seja rígido e definitivo, e sim um modelo geral adaptável, mais adequado aos desafios do ambiente industrial, que é tradicionalmente heterogêneo e complexo. Com esse modelo básico padrão de conectividade, a IVI busca aumentar o valor de cada empresa através do uso de sistemas ciberfísicos de produção.

Para produzir esse modelo, a IVI conta com grupos de trabalho divididos entre as áreas de negócios e a de plataformas, sendo 25 na área de negócios e 8 na de plataformas. Alguns dos assuntos abordados nesses grupos de trabalho envolvem sistemas ciberfísicos, estratégia de pequenas e médias empresas, logística, produção, qualidade de produtos e manutenção de equipamentos.³⁴

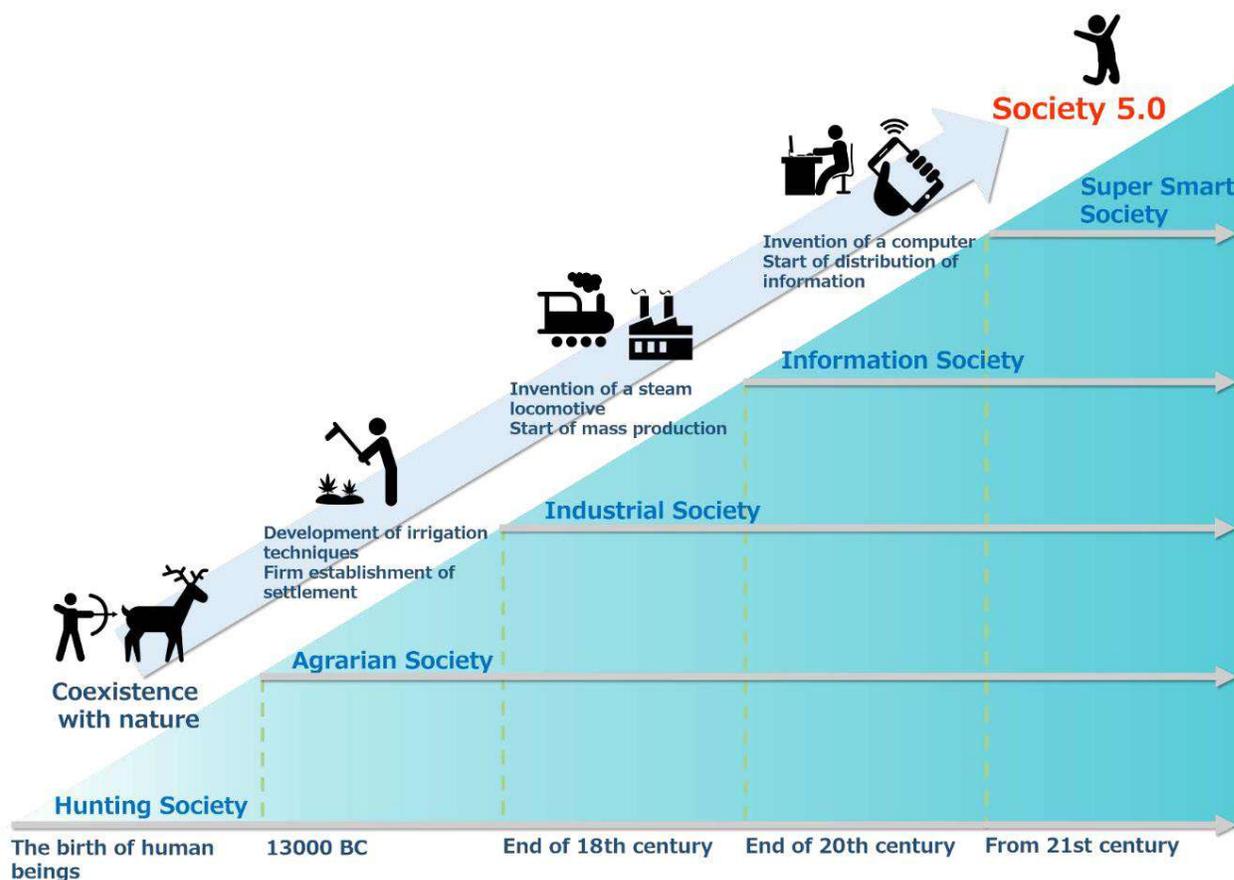
Complementando cada uma dessas iniciativas, surge em abril de 2016, o 5º plano básico de ciência e tecnologia japonês, uma proposta do governo intitulada “*Society 5.0*”. O nome da proposta, inspirado na “*Industry 4.0*” alemã, foi escolhido para indicar não

³³ HANNOVER DECLARATION, 2017

³⁴ INDUSTRIAL VALUE CHAIN INITIATIVE, 2016

apenas as mudanças no ambiente industrial e, sim, em toda a sociedade, implementando uma “sociedade inteligente”. De acordo com a proposta japonesa, essa nova sociedade se apresentaria como o 5º estágio da civilização, desde o surgimento dos primeiros seres humanos. Os quatro estágios anteriores, representados na figura V.3 a seguir, são: sociedade caçadora, agricultora, industrial e de informação.

Figura V.3 – Evolução da Sociedade



Fonte: KEIDANREN, 2016

A estratégia do governo japonês consiste, principalmente, na incorporação das tecnologias de internet das coisas, big data, robótica e inteligência artificial em todas as indústrias e atividades sociais, alcançando desenvolvimento econômico e solucionando problemas sociais ao mesmo tempo. Para isso, eles contam com 4 áreas de interesse

principais, que surgem da combinação entre os problemas identificados e das competências da indústria nacional.

Problemas ambientais, como poluição e esgotamento de recursos, desastres naturais, terrorismo e infraestrutura precária, envelhecimento da população, reduzida participação feminina na sociedade, queda na natalidade e da competitividade industrial são as questões apontadas como problemas pela estratégia japonesa. Cada um desses temas, aliados as competências da indústria japonesa de inovação baseada em tecnologia, inovação incremental e manufatura de hardware, abre espaço para o desenvolvimento de novas competências como o desenvolvimento de software, inovação baseada em problemas sociais e inovação disruptiva.³⁵

A sociedade 5.0 propõe uma integração entre o ambiente virtual e o físico, com os chamados espaços ciberfísicos, onde, diferentemente do cenário atual, no qual as informações são armazenadas, recuperadas e analisadas pelos usuários, os dados serão coletados por sensores e equipamentos no ambiente físico, enviados para o ambiente virtual, analisados através de inteligência artificial e os resultados das análises serão apresentados ao usuário no ambiente físico.

Para alcançar esse resultado, o 5º plano básico de ciência e tecnologia, elaborado pelo governo japonês em 2016, apresenta três áreas focais: recursos humanos, conhecimento e capital para inovação. Concentrado nessas três áreas, o plano inclui propostas de plano de carreira para pesquisadores na universidade, incentivos para pesquisadoras, de forma a aumentar o número de mulheres envolvidas em pesquisa nas universidades, contratação de mais professores, aumento do financiamento de pesquisas, incluindo o ensino de empreendedorismo nas grades curriculares escolares e facilitando a criação de *startups* e pequenas empresas.

³⁵ KEIDANREN, 2016

V.6 Brasil

A produção industrial brasileira contribuiu, no ano de 2016, com cerca de 12% do PIB nacional, a menor participação desde 1952 (IBGE, 2017). A participação da indústria na economia brasileira, a oitava maior do mundo (FMI, 2018), vem caindo desde o seu pico em 1985, quando chegou a 22%. Com a quinta maior população do mundo, questões como disponibilidade de mão de obra e tamanho do mercado interno não dificultariam uma possível retomada da participação da indústria.

Algumas correntes de opinião minimizam essa perda relativa da participação da indústria porque em vários países mais avançados, principalmente nos Estados Unidos, a indústria foi diminuindo seu peso relativo enquanto os serviços elevaram sua contribuição ao PIB desses países. Há que se ter maiores cuidados com essas interpretações porque aparentam superficialidade e desconsideração com a realidade da trajetória de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. O aprofundamento dessa discussão é relevante mas ultrapassa os objetivos da realização deste trabalho

Para retomar o seu crescimento, a indústria nacional precisa se tornar mais eficiente e competitiva, tanto internamente quando internacionalmente. Por isso, o tema da Indústria 4.0 tem ganhado espaço no país, fazendo parte das agendas de instituições públicas, entidades empresariais, institutos de pesquisa e das agências de fomento (VERMULM, 2018).

No quadro V.4 a seguir estão resumidas cinco das principais iniciativas nacionais organizadas por instituições públicas e privadas para a implementação de uma nova revolução industrial no país.

Quadro V.4 – Iniciativas brasileiras de reflexão acerca da Indústria 4.0

| Ano | Organizador | Classificação | Iniciativa | Principais Temas |
|------|--|---|--|--|
| 2017 | ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial | Órgão público | Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria | <ul style="list-style-type: none"> • Criação de um comitê com representantes do governo, das empresas e da academia; • Parcerias internacionais; • Construção de uma rede de laboratórios de inovação dedicada às tecnologias de suporte da Indústria 4.0; • Instalação de <i>testbeds</i> em ICTs selecionadas. |
| | CNI – Confederação Nacional da Indústria | Órgão público | Oportunidades para a Indústria 4.0 – Aspectos da demanda e da oferta no Brasil | <ul style="list-style-type: none"> • Estruturar uma rede de instituições capaz de elaborar os planos empresariais estratégicos de digitalização (PEED) para as empresas do setor industrial; • Capacitar empreendedores e técnicos; • Programas de incentivo à criação de <i>startups</i> de tecnologia; • Linhas de financiamento para inovação capacitação, implementação de tecnologias e do PEED. |
| | FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo | Agência de Fomento | Centro de Pesquisa em Engenharia em Manufatura Avançada | <ul style="list-style-type: none"> • Criação de 18 centros de inovação, cada um com um foco de atuação definido dentro do tema da Indústria 4.0. |
| | IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial | Entidade empresarial | Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil | <ul style="list-style-type: none"> • Linhas de financiamento reembolsáveis e não reembolsáveis específicas; • Programas de apoio a empreendedores de base tecnológica; • Criação de cursos técnicos e de nível superior nas áreas que representam os alicerces da Indústria 4.0; • Criação de fabricas modelo numa parceria dos Institutos Senai de Inovação, empresas e o governo; • Apoio financeiro para aquisição de ativos tecnológicos no exterior. |
| | <p>FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo</p> <p>CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo</p> <p>SENAI SP – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial</p> <p>ABDI</p> | <p>Entidade empresarial</p> <p>Entidade empresarial</p> <p>Instituição privada</p> <p>Órgão público</p> | Rumo a Indústria 4.0 | <ul style="list-style-type: none"> • Difundir os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 para o empresariado; • Divulgação de 6 cadernos de estudo do DECOMTEC abordando temas como as tecnologias e estratégias internacionais, os impactos na gestão e no mercado de trabalho; • Realizar programas de extensão de manufatura avançada com as empresas; • Mobilizar as indústrias para as novas oportunidade produzidas pela Indústria 4.0. |

Fonte: ABDI (2017), CNI (2017), FAPESP (2017), IEDI (2017)e FIESP (2017).

A Agenda Brasileira para Indústria 4.0, foi lançada em 14 de março de 2018 no Fórum Econômico Mundial. Essa iniciativa, realizada pela ABDI e o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), é o mais próximo de uma estratégia do governo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil. Dentro dessa agenda estão incluídos os seguintes projetos:

- “HUB 4.0”: Criação de uma plataforma de serviços que avalia o nível de digitalização das empresas e conecta elas a fornecedores de tecnologia;
- Criação de *testbeds*;
- Criação do “Startup Indústria 4.0”, que estimula a criação de startups para o desenvolvimento de tecnologia e aproxima elas das indústrias;
- Disponibilização de linhas de crédito especiais;
- Mapeamento de competências para a qualificação da mão de obra;
- Treinamento, em parceria com órgãos internacionais, de professores de educação profissional e tecnológica em Indústria 4.0;
- Criação de laboratórios focados no tema;
- Reformar leis de regulamentação da automação industrial.

É possível observar uma grande concordância entre as propostas. Centros de inovação, parcerias público-privadas, apoio do governo através de financiamentos, incentivo à criação de *startups* de tecnologia e propostas de qualificação da mão-de-obra são os principais temas abordados por essas iniciativas.

V.7 Reflexão sobre as estratégias mundiais

As estratégias abordadas nesse capítulo reforçam a ideia de que a implementação dessa nova revolução industrial não segue uma receita pré-determinada. A existência de uma estratégia única global, exigiria que todos os países estivessem no mesmo estágio de maturidade industrial, o que não é uma realidade. Porém, a revolução digital se apresenta como uma oportunidade valiosa tanto para países desenvolvidos, quanto para

os em desenvolvimento (DAHLAMAN; MEALY; WERMELINGER, 2016), portanto, se faz necessário que cada país defina um objetivo e construa uma estratégia individual que leve em consideração suas competências e deficiências.

As tecnologias digitais têm se espalhado rapidamente pelo mundo, interferindo nos padrões de consumo, modelos de negócios e governos. Esse avanço da digitalização estimulou diversos países a desenvolverem iniciativas nesse tema. Além das destacadas nesse trabalho, existem muitas outras, como as desenvolvidas pela França, Singapura, Inglaterra e Taiwan. Cada uma dessas iniciativas consiste em *“políticas deliberadas para criar novos mercados e construir o futuro, incorporando tecnologias habilitadoras”*, como apontado por Daudt e Willcox (2016).

Durante a revisão das iniciativas dos países selecionados, foi possível identificar alguns objetivos distintos, dentre os quais, vale destacar: a liderança industrial, como nos casos da Alemanha, Estados Unidos e China, a manutenção das suas posições de destaque em segmentos específicos, como Japão e Coréia do Sul e a reindustrialização, que foi apontada tanto nos Estados Unidos, quanto no Brasil, para aumentar a contribuição do setor industrial no PIB nacional.

Comparando cada caso apresentado anteriormente, é possível identificar várias similaridades entre eles. Um dos pontos principais foi que em todas as experiências revisadas foi observada a presença do governo implementando políticas, incentivos e financiamentos. O nível de participação do poder público varia de acordo com a estrutura de cada país, tendo casos como a China, com o governo aparecendo como o principal agente das iniciativas e casos, com um maior protagonismo do empresariado.

Dentro de cada iniciativa, muitos dos temas abordados e das medidas de atuação propostas se repetiam. A preocupação com as pequenas e médias empresas; a criação de centros de pesquisa e inovação; a parceria entre as empresas, o governo e a academia; o incentivo à criação de *startups* e propostas de qualificação da mão de obra, são alguns dos temas mais recorrentes. O quadro V.5, a seguir, sintetiza alguns desses pontos e suas recorrências. Além dos temas, as tecnologias habilitadoras priorizadas

pelos países também eram similares. Todas as iniciativas são fortemente baseadas na aplicação de internet das coisas, nuvem, espaços ciberfísicos, integração da cadeia de valor e “*big data*”, evidenciando a relevância do desenvolvimento nacional de competência nesses recursos.

Quadro V.5 – Análise das similaridades entre as iniciativas internacionais estudadas

| Temas | Alemanha | Estados Unidos | China | Coréia do Sul | Japão | Brasil |
|---|----------|----------------|-------|---------------|-------|--------|
| Criação de Centros de Inovação | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Propostas para qualificação da mão de obra | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Apoio à criação de <i>startups</i> | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Integração entre empresas, governo e academia | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Medidas de apoio às PMEs | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Padronização | ✓ | | | ✓ | ✓ | |
| Sustentabilidade | | | ✓ | | ✓ | ✓ |

Fonte:Elaboração própria

Conhecer a trajetória de cada país na implementação do conceito da “Indústria 4.0” nas suas diferentes realidades industriais, auxilia no processo de definição das prioridades e da estratégia para os países que estão ensaiando iniciativas no tema, como o caso do Brasil. Sem deixar de ajustar as tendências observadas nas estratégias externas para o seu contexto.

VI. Conclusão

Após esse trabalho de pesquisa e estudo pode-se aprofundar a compreensão a respeito do conjunto de mudanças que estão sendo classificadas como a 4ª Revolução Industrial e sobre a transformação digital consequente. Esse conjunto de mudanças não tem seus efeitos restritos à indústria, influenciando também a agricultura e o conjunto de atividades classificadas como serviços, que representam a maior parte do PIB dos países mais desenvolvidos.

A indústria, em todas suas atividades, está incorporando vários avanços tecnológicos gerados em torno da área de tecnologia da informação, classificados como tecnologias habilitadoras devido às suas características que permitem a ampla incorporação em diversos setores da vida econômica e social. A implantação dessas tecnologias não só é capaz de contribuir para o aumento da eficiência e competitividade desses setores como, também, de atender às exigências de mercados fragmentados e da necessidade de sustentabilidade ambiental e social desses diversos setores da vida econômica e social.

Foi possível também avaliar as mudanças que esses avanços tecnológicos habilitadores poderão provocar na esfera dos processos produtivos, no mercado de trabalho, no processo educacional e no modelo de negócios. Observou-se que a incorporação dos avanços das tecnologias de forma articulada e multidisciplinar nessas diversas atividades da vida econômica e social é necessária para atender demandas industriais e empresariais, e até mesmo, sociais.

Essa compreensão da Indústria 4.0 foi depois direcionada para a indústria química em geral. A indústria química, com sua diversidade de seus setores e de tipos de mercados e sua lógica “B2B”, que diminui sua proximidade com o consumidor final, é uma das indústrias com maior dificuldade de entendimento pela sociedade

Os benefícios que a Indústria 4.0 poderá proporcionar para o desempenho da indústria química podem ocorrer em todas as etapas da cadeia de valor da indústria, na obtenção de suas matérias primas, no processo produtivo, na área comercial e de

distribuição de seus produtos, e na melhoria do atendimento aos usuários e clientes de seus produtos. A transformação principal propiciada pela Indústria 4.0 tem sido a disseminação da digitalização, especialmente com a integração e comunicação entre elos da cadeia de valor e a incorporação de “*big data*” em suas atividades. Essa transformação, já em curso nas principais empresas, permitirá ganhos em todas as etapas de eficiência em toda a cadeia de valor até os usuários finais dos produtos da indústria.

Contudo, essas possibilidades de ganhos com a digitalização dos elos de suas atividades produtivas não são homogêneas e dependem das características tecnológicas e comerciais de cada segmento da indústria química, além de estarem relacionadas à maturidade industrial de cada país. Assim, as empresas mais avançadas deverão ter as maiores oportunidades de ampliação da digitalização, e as concorrentes menos avançadas necessitarão de um diferencial de esforço em sua digitalização, ou de apoio externo, para não perderem sua condição competitiva.

As condições de apoio em cada país também poderão favorecer a digitalização ou colocar maiores dificuldades nesse processo. A política industrial é uma ferramenta essencial para acelerar, alargar e aprofundar a industrialização, especialmente para as pequenas e médias empresas, que encontrariam dificuldades para se digitalizarem sozinhas.

O estudo das estratégias de implementação da Indústria 4.0 nos principais países evidenciou a relevância de ações planejadas e articuladas na esfera pública e privada para que a indústria 4.0 obtenha êxito na sua implementação. O objetivo comum a todos os países é ter uma indústria forte e de alta tecnologia, e para isso, se faz necessário o desenvolvimento das pequenas e médias empresas. Porém, devido às suas características específicas, cada país precisará escolher e trilhar um caminho diferente para obter sucesso em sua trajetória, apesar de contarem com as mesmas tecnologias e propostas similares.

O caso do Brasil mostra que várias iniciativas positivas vêm sendo tomadas na esfera privada e governamental. Contudo, o atual estado de desindustrialização e o baixo investimento em inovação devem ser levados em consideração na atividade de planejamento para que se possa obter os melhores resultados possíveis. Especialmente, na indústria química, onde a balança econômica mantém um déficit elevado, apesar dos altos volumes de venda no país.

Para isso, a indústria química brasileira precisará contar com uma política industrial adequada que estimule a retomada dos seus investimentos, sem a qual a Indústria 4.0 dificilmente conseguirá ter uma difusão adequada. O fortalecimento da educação e do investimento em pesquisa e desenvolvimento são carências que necessitarão também de um planejamento adequado para assegurar a articulação positiva das diversas iniciativas.

A proposta da Indústria 4.0 tem o potencial para criar uma economia global conectada com uma grande variedade de nichos de mercado. Essa nova estrutura possibilitaria uma participação mais ativa de pequenas e médias empresas e uma melhor distribuição dos mercados entre os países.

Um dos pontos fortes existente no Brasil que favorece as iniciativas da Indústria 4.0 é a sua quantidade de pequenas e médias empresas. O outro é a dimensão de seu mercado interno, em vários segmentos da indústria química. Se bem articuladas, as iniciativas brasileiras podem aproveitar do *know-how* das empresas com controle no exterior presentes no país, através de parcerias, em que as empresas estrangeiras ganhem benefícios em troca de investimentos em infraestrutura e transferência de conhecimento para o país, suas empresas e população.

Portanto, o planejamento precisará superar as limitações nacionais e definir prioridades para concentração de recursos e tirar proveito das oportunidades de crescimento e aumento de produtividade, que surgem com a implementação das propostas da “Indústria 4.0”.

Referências Bibliográficas

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Inovação, Manufatura Avançada e o Futuro da Indústria: Uma Contribuição ao Debate sobre as Políticas de Desenvolvimento Produtivo*, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 1ª edição, 2017

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. *O Desempenho da Indústria Química em 2017*, [Disponível em: www.abiquim.org.br](http://www.abiquim.org.br) Acessado em: 28/07/2018

ACC – American Chemistry Council. *Elements of the Business of Chemistry*, American Chemistry Council, USA, 2017

ACCENTURE The Chemicals Industry Getting Ready for Next-Generation B2B

ALLEN, J.; ROOT, J.; SCHWEDEL, A. *The Firm of the Future*, Bain and Company, 2017

ANZ CHARTERED ACCOUNTANTS *The future of work: How can we adapt to survive and thrive?*, Future Inc Foreward, Australia-New Zealand, 2016

Australian Institute for Commercialisation. *Enabling technology futures: a survey of the Australian technology landscape*. National Enabling Technologies Strategy Expert Forum, 2012

BAENA, F. et al. *Learning Factory: The Path of Industry 4.0*. In: CONFERENCE ON LEARNING FACTORIES, 7, 2017, Darmstadt. Procedia Manufacturing

BALDEA, M.; EDGAR, T.F. Modular Manufacturing Processes: Status, Challenges and Opportunities, AIChE Journal DOI 10.1002/aic.15872, USA, 2017

BARBOSA, C.E. et al. *Working in 2050: A view of how changes on the work will affect society*. Laboratório do Futuro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

BENESOVA, A.; TUPA, J. *Requirements for Education and Qualification of People in Industry*. In: International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, 27, 2017, Modena.

BIERINGER, T.; BUCHHOLZ, S.; KOCKMANN, N. Future Production Concepts in the Chemical Industry: Modular – Small-Scale – Continuous, *Chemical Engineering Technology* 2013, 36, No. 6, 900–910

BMBF - Federal Ministry of Education and Research. *High-Tech Strategy 2020 for Germany*, Alemanha, 2014

BMBF - Federal Ministry of Education and Research. *The new High-Tech Strategy Innovations for Germany*. Alemanha, 2010

BUGHIN, J. et al. *Skill Shift Automation and the Future of the Workforce*, McKinsey & Company, 2018

BUSINESS SWEDEN TOKYO. *Seizing Industry 4.0 Opportunities in Japan*, Disponível em: www.business-sweden.se, Acessado em: 29/07/2018

CEFIC - Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique. *Facts & Figures of the European Chemical Industry*, 2017

CNI – Confederação Nacional da Indústria, *Oportunidades para a Indústria 4.0 - Aspectos da Demanda e Oferta no Brasil*, Brasília, 2017

COLLINS, A.; HALVERSON, R. *Rethinking Education in the Age of Technology: The Digital Revolution and the Schools*, Draft, USA

CORÉIA DO SUL. *Development of Korean Science and Technology*, Government R&D Innovation Plan,

CRABTREE, S. et al. *The Chemical Industry: Getting Ready for Next-Generation B2B*. Accenture, 2015

DAHLMAN, C.; MEALY, S.; WERMELINGER, M. *Harnessing the digital economy for developing countries*. OECD Development Centre Working Papers, No. 334, OECD Publishing, 2016.

DANIEL, O.G.; XU, M.H. *Made in China 2025: Market Opportunities for EU SMEs*, China-Britain Business Council, 2018

DAUDT, G; WILLCOX, L. D. *Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada*. In: BNDES Setorial n.44. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016. p, 5 – 45.

DAVIS-PECCOUD, J. et al *Organizing for a Digital World*, Bain and Company, 2018

DELOITTE. *As PMEs que Mais Crescem no Brasil: A estratégia do reposicionamento*, 2017.

DILDA, V. et al. *Using advanced analytics to boost productivity and profitability in chemical manufacturing*, McKinsey & Company, France, 2018

Ellen MacArthur Foundation. Disponível em: www.ellenmacarthurfoundation.org
Acessado em: 28/02/2018

FREY, C.B.; OSBORNE, M.A. *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?*, United Kingdom, 2013

GEHRKE, L. et al. *A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective*, Alemanha, 2015

GEISBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. *A Strategist's Guide to Industry 4.0*, PWC Strategy

GIL, A.C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*, 4a edição, Editora Atlas, São Paulo, 2002

HARHOFF, D. et al. *Research, Innovation and Technological Performance in Germany*, Commission of Experts for Research and Innovation (EFI), Germany, 2011

HECKLAU, F. et al. *Holistic approach for human resource management in Industry 4.0* In: Conference on Learning Factories, 6, 2016

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. *Classificação nacional de atividades econômicas - CNAE : versão 2.0*. Rio de Janeiro: IBGE,. 2007. 425 p

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Disponível em :<http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017> Acessado em: 28/07/2018

IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, *Industria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil*, 2017

INOUI, T.; HAYKAWA, A.; KAMEI, T. China's Initiative for the Internet of things and Opportunities for Japanese Businesses, Noruma Research Institute , 2011

JAPAN. *The 5th Science and Technology Basic Plan, Government of Japan*, 2016

JAPÃO - Council for Science, Technology and Innovation Cabinet Office, *Report on The 5th Science and Technology Basic Plan*, Government of Japan, 2015

JCIA – Japan Chemical Industries Association. *Chemical Industry of Japan 2017*. Japão, 2018.

KAGERMMAN, H. et al. *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners*. Acatech Study, Munique: Herbert Utz Verlag, 2016

KEIDANREN. *Toward realization of the new economy and society - Reform of the economy and society by the deepening of "Society 5.0"*. Japan Business Federation, 2016

KELLER,A. et al. *Chemicals 2035– Gearing up for Growth: How Europe's chemical industry can gain traction in a tougher world*, Roland Berger Strategy Consultants, 2015

KIM, C.D. China is Shifting to the “Smart Factory of the World”, *Asian steel watch*, 2016

KLEI, A. et al. Digital in chemicals: From technology to impact, McKinsey & Company, Austria, 2017

KLITOU, D. et al. Germany: Industrie 4.0, Digital Transformation Monitor, Germany, 2017

LORENZ, M. et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, Boston Consulting Group, 2015

MACDOUGALL, W. *Industry 4.0 – Smart Manufacturing for the Future*. Germany Trade & Invest, 2014

MANYKA, J. et al. *Jobs lost, Jobs gained: Workforce Transitions in a time of automation*, McKinsey & Company, 2017

McGOWAN, M.A.; ANDREWS, D. Labour Market Mismatch and Labour Productivity: Evidence from PIAAC Data, OECD Economic Department, 2015

MITSUBISHI ELETRIC Creating Productivity: Reducing Manufacturing Costs
[Disponível em: www.mitsubishi-automation.com](http://www.mitsubishi-automation.com) Acessado em 28/07/2018

MOLNAR, M.F. et al. *Annual Report 2016*, Advanced Manufacturing National Programm Office, Estados Unidos, 2017

NETZER, F. *BASF pushes digital* [23/03/2018]. Londres: ICIS Chemical Business. Entrevista concedida a Nigel Davis.

NNMI; NIST *National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce*, Disponível em: <www.nist.com> Acessado em: 28/04/2018

PCAST - *Report on Intellectual Property Enforcement – Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing*, 2011

PCAST - *Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*, 2012

PORTER, M. et al. *Digital Opportunities for Chemical Producers*, Bain and Company, 2016

PORTER, M.; VAN DER LINDE, C. *Toward a New Conception of the Environment- Competitiveness Relationship*. In: *The Journal of Economic Perspectives*, 1995, v.9 , n.4, p. 97-118

REDECKER, C; PUNIE, Y. *The Future of Learning 2025: Developing a vision for change*, Future Learning, Spain, (2013)

ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: *Background and Overview*, *Internation Journal of Information Management* vol 11, No 5, 2017

RUBMMAN, M. et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, Germany, 2015

SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016

SEBORG, D. *Automation and control of chemical and petrochemical plants*. In: UNBEHAUEN, H. *Plants control systems, robotics and automation*. 2009, v. 19: Industrial, p. 57 – 72.

SNIDERMAN, B.; MAHTO, M.; COTTELEER, M.J. *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises*, Deloitte University Press, USA, 2016

SPATH, D. et al. *Manufacturing Work of the Future – Industry 4.0*, Fraunhofer Institute for industrial engineering, 2013

STOCK, T.; SELIGER, G. *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0* In: *Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 13, 2016

STORMER, E. et al. *The Future of Work, Jobs and Skills in 2030*, United Kingdom, 2014

SUNG, T.K. *Industry 4.0: A Korea perspective, Technological Forecasting & Social Change*. Department of MIS, Kyonggi University, Republic of Korea, 2017

TAYLOR, A. et al. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, Boston Consulting Group, 2015

TULLO, A. *Global Top 50 Chemical Companies*. C&EN Global Enterprise, v. 95, 2017

USA – COMMITTEE ON SCIENCE, SPACE AND TECHNOLOGY *Revitalize American Manufacturing and Innovation*, Estados Unidos, 2014

VAN THIENEN, S. et al. *Industry 4.0 and the chemicals industry. Catalyzing transformation through operations improvement and business growth*. Deloitte University Press, Oakland, USA, 2016

VERMULM, R. *Políticas para o Desenvolvimento da Industria 4.0 no Brasil*. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI), 2018

WAREING, M. *Made in China 2025: China Manufacturing in the 21st Century - Opportunities for UK-China Partnership*. China-Britain Business Council, 2018

WEF – World Economic Forum. *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*, 2016

_____. *Readiness for the Future of Production Report*, 2018

WEHBERG, G. *Chemical 4.0 Industry digitization from a business-strategic angle*. Deloitte, Germany, 2015

WIND, J.; BELL, D. *Market segmentation*. In: BAKER, M.J.; HART, S. (Ed.) *The Marketing Book 6th Edition*. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2007. p. 222-244.

WTO - World Trade Organization, *World Trade Statistical Review 2017*, 2018

WUBBEKE, J. et al. *Made in China 2025: The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries*. Mercator Institute for China Studies, 2016

Anexo A1 - Divisões 20 e 21 da CNAE 2.0

20 FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

20.1 Fabricação de produtos químicos inorgânicos

20.11-8 Fabricação de cloro e álcalis

20.12-6 Fabricação de intermediários para fertilizantes

20.13-4 Fabricação de adubos e fertilizantes

20.14-2 Fabricação de gases industriais

20.19-3 Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente

20.2 Fabricação de produtos químicos orgânicos

20.21-5 Fabricação de produtos petroquímicos básicos

20.22-3 Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras

20.29-1 Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente

20.3 Fabricação de resinas e elastômeros

20.31-2 Fabricação de resinas termoplásticas

20.32-1 Fabricação de resinas termofixas

20.33-9 Fabricação de elastômeros

20.4 Fabricação de fibras artificiais e sintéticas

20.40-1 Fabricação de fibras artificiais e sintéticas

20.5 Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários

20.51-7 Fabricação de defensivos agrícolas

20.52-5 Fabricação de desinfetantes domissanitários

20.6 Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal

20.61-4 Fabricação de sabões e detergentes sintéticos

20.62-2 Fabricação de produtos de limpeza e polimento

20.63-1 Fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal

20.7 Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins

20.71-1 Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacas

20.72-0 Fabricação de tintas de impressão

20.73-8 Fabricação de impermeabilizantes, solventes e produtos afins

20.9 Fabricação de produtos e preparados químicos diversos

20.91-6 Fabricação de adesivos e selantes

20.92-4 Fabricação de explosivos

20.93-2 Fabricação de aditivos de uso industrial

20.94-1 Fabricação de catalisadores

20.99-1 Fabricação de produtos químicos não especificados anteriormente

21 FABRICAÇÃO DE PRODUTOS FARMOQUÍMICOS E FARMACÊUTICOS

21.1 Fabricação de produtos farmoquímicos

21.10-6 Fabricação de produtos farmoquímicos

21.2 Fabricação de produtos farmacêuticos

21.21-1 Fabricação de medicamentos para uso humano

21.22-0 Fabricação de medicamentos para uso veterinário

21.23-8 Fabricação de preparações farmacêuticas