



Manufatura do Futuro: Perspectiva na Indústria Química

Camila Bonadas Tavares

Projeto de Final de Curso

Orientador

**Prof. Flávia Chaves Alves,
D.Sc.**

Junho de 2018

MANUFATURA DO FUTURO: PERSPECTIVA NA INDÚSTRIA QUÍMICA

Camila Bonadías Tavares

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

José Eduardo Pessoa de Andrade,
Eng.

Bettina Susanne Hoffman, D.Sc.

Michelle Reich, M.Sc.

Orientado por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Junho de 2018

Tavares, Camila Bonadiaz.

Manufatura do futuro: perspectiva na indústria química./ Camila Bonadiaz Tavares. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

x, 113 p.; il.

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

Orientador: Flávia Chaves Alves.

1. Manufatura do Futuro. 2. Indústria 4.0. 3. Indústria Química. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Dedicatória

Dedico esse presente trabalho aos meus pais, Ana Cristina e Marcus Vinicius, que me deram todas as condições de conseguir ingressar no curso de engenharia química na UFRJ e de dedicar-me integralmente aos estudos ao longo desses anos. Foi o seu exemplo que me motivou e tornou possível a realização desse sonho.

Citação

“Technological change rarely advances smoothly. It advances in pulses. In revolutions.”

- Mary Barra.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus, por ter me concedido saúde, força e proteção ao longo desses últimos cinco anos de faculdade.

Agradeço também à minha mãe, Ana Cristina, que me apoiou em todos os momentos de dificuldade, que compreendeu o nível de demanda exigido pelo curso e que é o meu maior exemplo de dedicação e responsabilidade. Sou grata também ao meu pai, Marcus Vinicius, por me inspirar a ser engenheira e por acreditar sempre na minha capacidade.

Sou grata à Universidade Federal do Rio de Janeiro e à Escola de Química, pelo seu papel no meu crescimento como pessoa, aluna e profissional. É com orgulho que termino, hoje, o melhor curso de Engenharia Química do país.

Agradeço a todos os meus mestres da Escola de Química - UFRJ, pois foram os seus conhecimentos que deram os recursos e ferramentas necessários para que eu me tornasse, enfim, uma engenheira química. Foi um privilégio poder aprender com os melhores professores, educadores e orientadores e a eles eu devo grande parte do crédito da minha jornada de excelência acadêmica.

Em especial, gostaria de agradecer à Professora Flávia Alves, responsável pela orientação desse trabalho. Sou muito grata por ter confiado em mim e disponibilizado seu tempo, suporte e atenção. Obrigada por cada sugestão, cada correção e por toda a contribuição na elaboração deste trabalho, que não seria possível sem a sua ajuda.

Por fim, agradeço também a todos aqueles que participaram da minha trajetória. Aos meus amigos, que me ajudaram imensamente no decorrer deste curso e que tornaram essa jornada muito mais prazerosa. Aos meus familiares, por todas as palavras de encorajamento. Ao meu namorado, obrigada pelo carinho, paciência e incentivo.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

MANUFATURA DO FUTURO: PERSPECTIVA NA INDÚSTRIA QUÍMICA

Camila Bonadías Tavares

Junho, 2018

Orientador: Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Nas últimas décadas, o mundo passou por transformações tecnológicas que mudaram a maneira como as pessoas vivem, trabalham, produzem e interagem. Recentemente, um novo conjunto de avanços está apontando para o começo de uma Quarta Revolução Industrial, segundo teóricos. Essa revolução se caracteriza pela convergência de uma série de tecnologias habilitadoras que estão sendo introduzidas em toda a cadeia de valor da indústria. Assim como nas revoluções anteriores, a indústria química desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de inovações tecnológicas. Ao mesmo tempo, esta também está sendo transformada por meio da digitalização. As aplicações potenciais de tecnologias digitais - como Internet das Coisas, *big data*, inteligência artificial e computação em nuvem – combinadas com a mais nova geração de sensores, robôs e tecnologias de manufatura aditiva podem gerar imensos benefícios econômicos e não-econômicos no setor químico. Desde a introdução do tema em 2011, uma parcela crescente das maiores empresas químicas do mundo tem reconhecido as oportunidades associadas à Manufatura do Futuro e tem investido em estratégias digitais para promover o crescimento de suas companhias. O presente trabalho tem como objetivo principal mapear e analisar o estágio de adoção atual da Manufatura do Futuro (ou Indústria 4.0) na indústria química. Neste sentido, foram identificadas as iniciativas relacionadas à Indústria 4.0 nas 20 maiores empresas químicas do mundo, com o intuito de avaliar o grau de adoção das tecnologias habilitadoras na indústria química e a abordagem empregada pelas empresas do setor em relação à Manufatura do Futuro. Foram definidas quatro áreas principais de abordagem da Indústria 4.0, sendo elas: Planta Digital, Pesquisa e Desenvolvimento Digital, Cadeia de Suprimentos Digital e Serviços e Modelos de Negócios Digitais. A partir desse estudo, pode-se concluir quais são os setores prioritários para a transformação digital na indústria química e também conceber algumas previsões para os próximos anos. Notadamente, a abordagem da Planta Digital é a mais explorada atualmente pelas empresas químicas, revelando um foco em aumento da eficiência e melhoria de estruturas já existentes. Apesar disso, pode-se perceber bastante diversidade entre as empresas, com algumas se mostrando mais abertas à transformação digital e até mesmo se posicionando como líderes em Manufatura do Futuro. Como resultado do estudo, foi possível identificar também algumas tendências de adoção das tecnologias habilitadoras para os próximos anos.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	1
Capítulo II – Características Estruturais e Panorama Atual da Indústria Química	6
Capítulo III – Cenário global da Manufatura do Futuro	12
III.1 – Histórico e Contexto	12
III.2 – Iniciativas globais em Manufatura do Futuro	16
Capítulo IV – Tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro	35
IV.1 – Sistemas Ciberfísicos	37
IV.2 – <i>Big data</i> e <i>analytics</i>	40
IV.3 – Computação em nuvem	43
IV.4 – Internet das Coisas	46
IV.5 – Manufatura Aditiva	49
IV.6 – Inteligência Artificial e Robótica	53
Capítulo V – Iniciativas de empresas químicas na Manufatura do Futuro	58
V.1 – Metodologia do trabalho	58
V.2 – Iniciativas das empresas químicas	62
V.3 – Análise das iniciativas	75
V.4 – Comparação de resultados	86
Capítulo VI – Conclusão	92
Referências Bibliográficas	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1	Dados recentes que caracterizam a importância da Indústria Química	7
Figura II.2	Setores clientes da indústria química na União Europeia	8
Figura II.3	Venda de produtos químicos por países ou regiões em 2016 e projeção para 2030	11
Figura III.1	Foco atual de países e regiões selecionadas no contexto da Manufatura do Futuro	15
Figura III.2	Investimentos no mercado de tecnologias da informação e comunicação na Europa em 2017 e projeções de crescimento para 2018	19
Figura III.3	Percentual de utilização de pelo menos uma dentre 10 tecnologias digitais da Indústria 4.0 pelas empresas estudadas.	32
Figura IV.1	Impactos do uso de big data em toda a cadeia de valor na manufatura	42
Figura IV.2	Modelo computação em nuvem para o futuro da Internet dos Serviços	44
Figura IV.3	Uma visão geral de abordagens e usos das Inter-Clouds	46
Figura IV.4	Tecnologias da Informação e Comunicação convergindo na Internet das Coisas	48
Figura IV.5	Evolução histórica da Manufatura Aditiva	51
Figura IV.6	Tecnologias cognitivas amplamente usadas na Manufatura do Futuro	55
Figura V.1	Fluxograma de metodologia de análise das iniciativas na indústria química	62
Figura V.2	Estratégia de digitalização da BASF	64
Figura V.3	Quantificação do emprego das tecnologias habilitadoras nas empresas estudadas	78
Figura V.4	Posicionamento das empresas químicas estudadas por abordagem	85
Figura V.5	Nível de digitalização entre empresas químicas entrevistadas em 2016 e prospecção para 2020	87
Figura V.6	Taxas de digitalização do portfolio e criação de serviços digitais voltados para os consumidores	89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela III.1	Dados sobre iniciativas selecionadas da Manufatura do Futuro entre os países europeu	17
Tabela IV.1	Tecnologias-chave por algumas publicações relevantes	37
Tabela V.1	Lista das primeiras 20 empresas em vendas de produtos químicos em 2016	59
Tabela V.2	Portfólios das empresas químicas estudadas e classificação por setores de atuação	61
Tabela V.3	As tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro citadas nas iniciativas divulgadas por cada uma das empresas químicas estudadas	76
Tabela V.4	Abordagem estratégica da Manufatura do Futuro em quatro áreas principais	80

ÍNDICE DE SIGLAS

- ABII – Associação Brasileira de Internet Industrial
- ACATECH – Academia Alemã de Ciência e Engenharia
- ACC – *American Chemistry Council*
- AMP – *Advanced Manufacturing Partnership*
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CE – Comissão Europeia
- CEFIC – Conselho da Indústria Química Europeia
- CNI – Confederação Nacional da Indústria
- Finep – Financiadora de Estudos e Projetos
- IA – Inteligência Artificial
- IIC – *Industrial Internet Consortium*
- IMI – *Institutes for Manufacturing Innovation*
- IoT – *Internet of Things*
- IoS – *Internet of Services*
- MA – Manufatura Aditiva
- METI – Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão
- MGI – *McKinsey Global Institute*
- MVA – *Manufacturing Value Added*
- NAFTA – Tratado Norte-Americano de Livre Comércio
- OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- PCAST – Conselho de Consultores da Presidência em Ciência e Tecnologia
- P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
- PMEs – Pequenas e Médias Empresas
- RFID – Identificadores de Radiofrequência
- SC – *Supply Chain* ou Cadeia de Suprimentos
- TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação
- WEF – *World Economic Forum*

I. Introdução

A dificuldade de precisar os conceitos por trás da Manufatura do Futuro (ou Indústria 4.0) se deve ao fato de que, pela primeira vez, uma revolução industrial foi prevista *a-priori*, e não observada *ex-post* (DRATH, 2014). O primeiro posicionamento oficial sobre o tema foi feito pelos alemães, ao lançarem a plataforma “Indústria 4.0” na Hannover Fair, em 2011, como uma de suas iniciativas-chave para sua estratégia de avanço tecnológico (KAGERMANN *et al.*, 2016). Desde então, o termo tem ganhado cada vez mais destaque entre acadêmicos, empresários e membros de governos por todo o mundo, especialmente nos países mais desenvolvidos. Segundo Rojko (2017), devido à importância dessa transição tecnológica para a posição de um país no mercado global, iniciativas similares ligadas à Manufatura do Futuro foram e tem sido introduzidas em diversos países, lideradas e suportadas pelos seus governos.

Ao longo da história, as novas tecnologias mudaram fundamentalmente a forma como os diversos bens são produzidos. Por exemplo, a máquina a vapor, a eletricidade e os computadores transformaram drasticamente a paisagem industrial no passado. De acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2015), há um debate crescente de que o mundo está à beira de uma revolução industrial semelhante e que uma reorganização da produção ocorrerá nos próximos 10 a 15 anos. Argumenta-se que uma série de tecnologias como nanotecnologia, biotecnologia e, principalmente, as tecnologias de informação e comunicação fornecerão soluções (parciais) para os desafios criados pelas megatendências globais em questões demográficas, de globalização e de sustentabilidade. Schwab (2016) também afirma que este é o começo da Quarta Revolução Industrial, que é baseada na revolução digital, com uma internet muito mais móvel e ubíqua, com sensores menores e mais poderosos ficando mais baratos e acessíveis e com inteligência artificial e máquinas inteligentes.

Esse posicionamento é visto de forma cética pelos economistas do BNDES (DAUDT e WILLCOX, 2017). Para eles, seria precipitado afirmar que esse período de transformações causado pela convergência de tecnologias já existentes se trate efetivamente de uma nova revolução. Entretanto, segundo a OECD (2015) é necessário ressaltar que embora a maioria das tecnologias já exista há algum tempo, observou-se apenas recentemente sua aplicação mais ampla para soluções industriais. Por conseguinte, a competitividade das empresas e das

economias na produção futura dependerá cada vez mais da aplicação dessas tecnologias avançadas em produtos e processos de produção. Segundo Baweja *et al.* (2016), a Quarta Revolução Industrial já está ocorrendo e se caracteriza, como suas predecessoras, por evoluções em automação e conectividade. Segundo esses autores, a automação extrema é um produto do papel crescente da robótica e da inteligência artificial nas empresas, no governo e na vida pessoal. Paralelamente, a conectividade extrema retira barreiras espaço-temporais e proporciona uma comunicação intensa e veloz entre humanos e máquinas.

A fim de avaliar se esta seria realmente uma revolução industrial, é necessário discutir o impacto e as transformações estruturais gerados pelas revoluções anteriores. A Primeira Revolução Industrial foi causada pela automação da produção, começando em meados do século XVIII e se intensificando no século seguinte. De acordo com Baweja *et al.* (2016), o progresso da manufatura e o uso nascente de combustíveis com maior intensidade de energia abriram caminho para o poder do vapor e as locomotivas. A partir de 1870, a eletricidade e a divisão do trabalho levaram à Segunda Revolução Industrial, que se caracterizou por três fatores: níveis mais altos de automação através do desenvolvimento da produção em massa; conectividade mais eficiente na produção através da divisão do trabalho; e novos progressos no uso de fontes de energia, como eletricidade e petróleo. A Terceira Revolução, também chamada de “Revolução Digital”, ocorreu nos anos 1970, quando eletrônicos avançados e tecnologias da informação desenvolveram ainda mais a automação do processo produtivo (HERMANN *et al.*, 2016).

Diante do histórico de revoluções, parece coerente afirmar que o momento atual configura o cenário inicial de uma nova revolução. Além disso, a condição de Quarta Revolução Industrial tem sido reforçada por entidades importantes como o World Economic Forum (WEF). O relatório *The Global Information Technology Report* (BALLER *et al.*, 2016) emitido pelo WEF, afirma que o mundo está efetivamente entrando na quarta revolução industrial. Segundo eles, os fatores que diferenciam essa das revoluções industriais anteriores são a velocidade exponencial dos desenvolvimentos, a perturbação em todas as principais indústrias e o impacto em sistemas inteiros de produção, gerenciamento e governança. Se bem geridos, esses desenvolvimentos têm o potencial de dar origem a inovações que irão impulsionar o crescimento econômico e social, conforme é esperado de uma nova revolução. O relatório indica que as tecnologias da informação e da comunicação

(TIC) são a espinha dorsal do avanço e que o futuro de países, empresas e indivíduos dependerá fortemente de adotá-las.

Impulsionadas pela ciência e tecnologia, grandes mudanças na produção de bens e serviços estão ocorrendo agora e outras - possivelmente ainda mais significativas - estão no horizonte, de acordo com o relatório *Enabling the next production revolution* da OECD (OECD, 2015). A organização afirma que a convergência entre as diferentes tecnologias é particularmente provável para distinguir esta revolução de avanços tecnológicos "normais" e, portanto, deverá resultar em mudanças disruptivas¹. Segundo Sniderman *et al.* (2016), à medida que essas ondas de mudança continuam a moldar o cenário competitivo, os fabricantes precisam decidir como e onde investir em novas tecnologias, identificando quais delas trarão o maior benefício para suas organizações. Assim, os líderes industriais têm a oportunidade de desenvolver estratégias de operações aprimoradas e realizar objetivos comerciais essenciais com base nas tecnologias escolhidas, que podem ser empregadas em vários pontos da cadeia de valor industrial.

Considerando-se todos esses aspectos, é inegável que exista uma quantidade imensa de oportunidades associada a essa evolução digital do mundo industrial. As revoluções industriais anteriores dinamizaram as economias nacionais e aumentaram o padrão de vida de milhões de pessoas. Da mesma forma, a próxima revolução da produção poderia ter impactos de longo alcance sobre a produtividade, distribuição de renda, bem-estar e meio ambiente (OECD, 2015). Os países e as empresas que adotarem as tecnologias e anteciparem os desafios, lidando com eles de forma estratégica, são mais propensos a prosperar (BALLER *et al.*, 2016). Na Alemanha, em particular, o foco está em integrar informação, comunicação e tecnologias de manufatura em fábricas inteligentes e auto-organizáveis. Nos Estados Unidos e também na China, por outro lado, a Indústria 4.0 está fortemente associada a produtos inteligentes, plataformas da Internet e os novos modelos industriais neles baseados (KAGERMANN *et al.*, 2016). Percebe-se também que o perfil industrial e o interesse sócio-econômico de cada país influenciam fortemente a estratégia tecnológica adotada.

¹ Segundo Howard (2013), uma mudança disruptiva é uma inovação que desloca um mercado, indústria ou tecnologia existente e produz algo novo, mais eficiente e mais produtivo e que pode afetar a maneira de pensar, de se comportar e de fazer negócios em uma sociedade.

Considerando este grande potencial de mudanças na indústria como um todo, quais seriam os impactos na indústria química, especificamente? No passado, a indústria química desempenhou um papel de liderança nas revoluções industriais apoiando as inovações – com produtos farmacêuticos, plásticos e eletroeletrônicos, para citar apenas alguns - que transformaram as sociedades nos últimos 150 anos (SPELMAN *et al.*, 2017). Atualmente, uma profunda transformação digital está ocorrendo nos bastidores das maiores companhias do mundo e as empresas químicas não são exceção (WESTERMAN *et al.*, 2016). Kottman (2016) afirma que as tecnologias digitais influenciarão a indústria química. Para ele, as medidas podem não ser tão visíveis ou tão pioneiras como em outros setores (por exemplo, automotivo ou de construção de máquinas), mas definitivamente afetarão a indústria, começando com a crescente transparência do fluxo de informações ou mercadorias ao longo da cadeia de valor. Além disso, a digitalização conseguirá transformar as exigências de clientes em oportunidades de negócios totalmente novas, indo muito além dos produtos atuais.

Neste sentido o objetivo principal deste trabalho é mapear as iniciativas das maiores empresas químicas do mundo em tecnologias relacionadas à Manufatura do Futuro de forma a caracterizar o processo de adoção das mesmas e discutir suas diferentes estratégias. Neste estudo, não serão consideradas as iniciativas relacionadas à biotecnologia ou nanotecnologia, mas apenas aquelas associadas a tecnologias digitais e da comunicação e informação. O trabalho foi estruturado em quatro capítulos, além dessa introdução. O capítulo dois discute as características estruturas da indústria química, de forma a compreender a dinâmica competitiva dos diferentes segmentos. No capítulo três será discutido o cenário global atual da Manufatura do Futuro, revendo as principais iniciativas e programas de incentivo de alguns países selecionados e também a perspectiva brasileira. No capítulo quatro serão estudadas as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0² e seus respectivos potenciais transformadores. Em seguida, no capítulo cinco, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa relativa às iniciativas de Manufatura do Futuro nas empresas químicas estudadas. É realizada também uma análise comparativa de forma a buscar identificar semelhanças e diferenças na abordagem entre as empresas e discutir sobre quais tecnologias parecem ser mais promissoras a curto e longo prazo. Por fim, o capítulo

² Os nomes “Indústria 4.0”, “Manufatura do Futuro” e “Manufatura Avançada” serão usados neste trabalho, representando de forma sinônima o mesmo conjunto de ideias e convergência de tecnologias que descrevem o começo da “Quarta Revolução Industrial”.

seis apresenta as conclusões do presente trabalho, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

II. Características Estruturais e Panorama Atual da Indústria Química

Segundo Leker e Utikal (2016), a indústria química é uma indústria de processos onde as empresas “agregam valor aos materiais misturando, separando, formando ou por reações químicas”. As indústrias de processo diferem das chamadas “indústrias discretas” em relação ao processo de produção. Em indústrias discretas, como as indústria automotiva ou de equipamentos, por exemplo, as rotas de produção convergem à medida que os produtos finais são montados usando vários componentes de entrada discretos. Em contraste, um produto na indústria química pode atuar simultaneamente como intermediário, processado para sintetizar outros produtos ou servir como um produto acabado e vendável. Os processos de produção podem, portanto, ser convergentes e divergentes ao mesmo tempo, o que aumenta a sua complexidade de planejamento e otimização.

De um modo ou de outro, a indústria química contribui para quase todos os produtos manufaturados, servindo como a espinha dorsal de muitas indústrias de mercado final, como agricultura, automotiva, construção e farmacêutica (SPELMAN *et al.*, 2017). Portanto, mudanças na indústria química provavelmente terão um efeito cascata em vários outros setores (THIENEN *et al.*, 2016). A imensa escala da Indústria Química, sua contribuição para o PIB global e outros dados relevantes sobre a integração do setor com a vida cotidiana podem ser observados na Figura II.1.

A imensidão da indústria química



Figura II.1: Dados recentes que caracterizam a importância da Indústria Química.

Fonte: Spelman *et al.*, 2017.

De acordo com Rittershaus (2016), os processos na indústria química são extremamente eficientes e foram otimizados e ajustados em escala ao longo de muitos anos. Em suma, o setor químico é uma indústria madura que possui um portfólio altamente diversificado de produtos. Máxima eficiência e grandes volumes, bem como instalações intensivas em capital, através de locais de produção integrados, desempenham um papel fundamental para a indústria. Essas características da indústria química inibem a “agilidade” e a “flexibilidade” das empresas do setor (LEKER e UTIKAL, 2016). Por outro lado, considerando-se os enormes volumes de produção em questão na indústria química, mesmo pequenas melhorias podem representar uma grande vantagem. Uma pequena quantidade de otimização de processos e inovação pode fornecer um grande impulso às empresas e dar a elas uma vantagem no mercado (RITTERSHAUS, 2016).

Segundo Kottmann (2016), a indústria química é, a princípio, baseada nos mesmos princípios de gestão que outros setores. Entretanto, é necessário considerar algumas características específicas dessa indústria - como os altos investimentos em P&D, a dependência de recursos fósseis, a intensidade energética e o fato de que as empresas químicas afetam significativamente o meio ambiente e a sociedade como um todo. Esses fatores podem não ter a mesma importância para empresas de outros setores. Kottmann (2016) ressalta também que os ciclos de desenvolvimento de novos produtos são orientados

para o longo prazo, o que significa que o estabelecimento de capacidade de novos produtos, bem como as cadeias de suprimentos, leva mais tempo em comparação com outras indústrias.

As relações com o mercado são diferentes em comparação com outras indústrias: os mercados *business to business* (B2B) são de grande importância para as empresas da indústria química (LEKER e UTIKAL, 2016). Muitos dos produtos são usados na produção industrial, vendidos para outras empresas ou usados dentro da mesma empresa em um processo de produção separado. Por meio de sua estrutura de acordos de licenciamento, eles estão intimamente interligados com outras empresas. Em geral, a indústria química tem um perfil misto de relações de mercado, desenvolvendo produtos predominantemente para outros clientes industriais ou do setor de agricultura, mas também para o consumidor final, em alguns casos. (LEKER e UTIKAL, 2016). A Figura II.2 apresenta as estatísticas de setores clientes da indústria química, corroborando a importância do B2B para as empresas químicas.

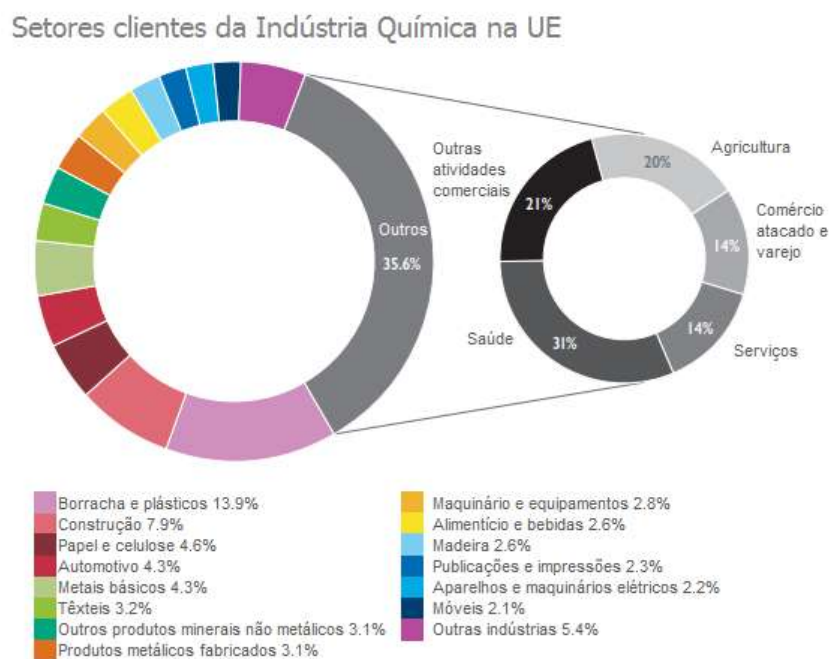


Figura II.2: Setores clientes da indústria química na União Européia.
Fonte: CEFIC, 2017.

Rittershaus (2016) destaca que existe um alto nível de sensibilidade ao preço e pressões competitivas devido a uma gama diversificada de fatores, como os requisitos ambientais cada vez mais exigentes, a necessidade de melhorar a eficiência de materiais

devido à escassez, os desafios de redução do consumo energético e do tempo de inatividade da produção. Darkow e von der Gracht (2013) citam também algumas mudanças na cadeia de valor ao longo do tempo: os clientes e a sociedade tornaram-se mais conscientes das questões de sustentabilidade, como a proteção do ambiente natural e a nutrição saudável, as regulamentações do setor tornaram-se complexas e a concorrência global aumentou. Por esses motivos, o setor aplica métodos de planejamento sofisticados, como a abordagem de cenário, a fim de antecipar desenvolvimentos e incertezas de longo prazo.

Spelman *et al.* (2017) ressaltam também três das maiores prioridades da indústria química. Uma vez que os custos das matérias-primas normalmente equivalem a 50-60% das receitas de uma empresa química (variando por subsetor³), acessar e gerenciar o fornecimento de matérias-primas - e a volatilidade desse suprimento - é uma questão importante. Além disso, o processamento de produtos químicos e materiais é intensivo em ativos, muitas vezes requerendo investimentos em grande escala e ativos que possam ser utilizados por décadas. Dessa forma, a excelência operacional, o gerenciamento da produção (por exemplo, taxas de disponibilidade e utilização dos equipamentos) e a garantia de segurança dos trabalhadores são os principais fatores. A última prioridade, segundo eles, é o domínio das capacidades de inovação para desenvolver novos produtos e aplicações que assegurem as margens e a participação no mercado.

De acordo com Darkow e von der Gracht (2013), as atividades do setor químico estão majoritariamente localizadas no começo da cadeia produtiva, passando por uma longa cadeia de valor até chegar como produto final ao consumidor. Por isso, as economias de escopo⁴ na produção são uma vantagem competitiva fundamental, muitas vezes incluindo relacionamentos internos e externos entre fornecedores e clientes. Muitos produtos da indústria química são commodities⁵, o que gera uma alta pressão nas margens e uma

³ No presente trabalho, os subsetores considerados serão: químicos de base, especialidades químicas e empresas integradas que produzem tanto químicos de base quanto especialidades químicas. Não serão consideradas empresas do setor farmacêutico.

⁴ De acordo com Hindle (2008), autor do livro "The Economist guide to management ideas and gurus", as economias de escopo são fatores que tornam mais barato produzir uma série de produtos juntos do que separadamente. Essas economias podem vir de empresas que compartilham funções centralizadas, como finanças ou marketing; de inter-relações em outras partes do processo de negócios, como a venda cruzada de um produto ao lado de outro ou ainda da utilização dos produtos de saída de um negócio como insumos de outro.

⁵ Uma commodity pode ser definida como um produto básico, em estado bruto ou com baixo grau de transformação, sendo mercadorias de pouco valor agregado e quase sem diferenciação e que podem, portanto, ser negociadas globalmente sob uma mesma categoria, normalmente em mercados futuros nas bolsas de valores (Castro, 2016).

necessidade de gerenciar a cadeia de suprimentos com alta eficiência. Além das constantes oscilações de preço, algumas matérias-primas são escassas e isso precisa ser considerado no planejamento e gerenciamento.

Além disso, as companhias que operam no setor químico precisam gerenciar uma gama muito ampla de partes interessadas para garantir sua “licença para operar” (KOTTMANN, 2016). De acordo com Leker e Utikal (2016), isso ocorre principalmente porque elas têm um impacto muito alto no meio ambiente e recebem muita atenção de diferentes atores sociais (por exemplo, sociedade civil, política, clientes, fornecedores). Além disso, a indústria química, em particular, recorda uma história de acidentes ambientais. A ética nos negócios e questões relacionadas à sustentabilidade ambiental e social são pertinentes às empresas químicas. Segundo Spelman *et al.* (2017), as questões de segurança e responsabilidade estão no topo da agenda dos seus líderes e, portanto, têm a mais alta prioridade em qualquer transformação operacional.

Por fim, a indústria química é uma indústria global. Os mercados globais foram e continuam sendo muito dinâmicos e suscetíveis a mudanças contínuas (KOTTMANN, 2016). Segundo Leker e Utikal (2016), o seu posicionamento geográfico global é determinado pelos custos de produção, matéria-prima e energia, por um lado, e a necessidade de garantir acesso imediato ao mercado, por outro. Para um número muito limitado de produtos, as empresas produzem todo o suprimento global em um único local. Nesse caso, os custos de transporte devem ser insignificantes, tendo em vista o custo total de um bem e as economias de escala⁶. Como consequência, a consolidação da produção em uma fábrica é preferível a uma duplicação global das atividades de produção. Os parques industriais onde empresas distintas usam uma infraestrutura comum (pólos industriais) também são um padrão adicional de organização de empresas químicas.

A figura II.3 apresenta a porcentagem de cada país ou região nas vendas de produtos químicos em 2016, assim como a projeção dessas vendas para 2030. Segundo a CEFIC (2017), as vendas totalizaram 3,360 bilhões de euros em 2016. Observa-se que a China tem

⁶ Segundo Hindle (2008), economias de escala são fatores que fazem com que o custo médio de produção de um produto caia à medida que o volume de sua produção aumenta. As economias de escala foram os principais impulsionadores do gigantismo corporativo no século XX e continuam a ser um estímulo para muitas fusões e aquisições atualmente. Por outro lado, quanto maior a organização se torna para obter economias de escala, mais complexa se torna sua administração. Essa complexidade gera um custo que, eventualmente, pode superar as economias obtidas e gerar um estado de deseconomia de escala.

a maior parcela do mercado de químicos, com aproximadamente 40% do total em 2016, um reflexo das políticas de crescimento econômico e investimento no país, cuja parcela no mercado de químicos era apenas 13,2% em 2006. Em 2016, os blocos da União Europeia e da NAFTA (*North American Free Trade Agreement*) tiveram desempenho semelhante, com aproximadamente 15% do total cada, enquanto a América Latina, com 3,8%, obteve um percentual do mercado menor do que o do Japão.

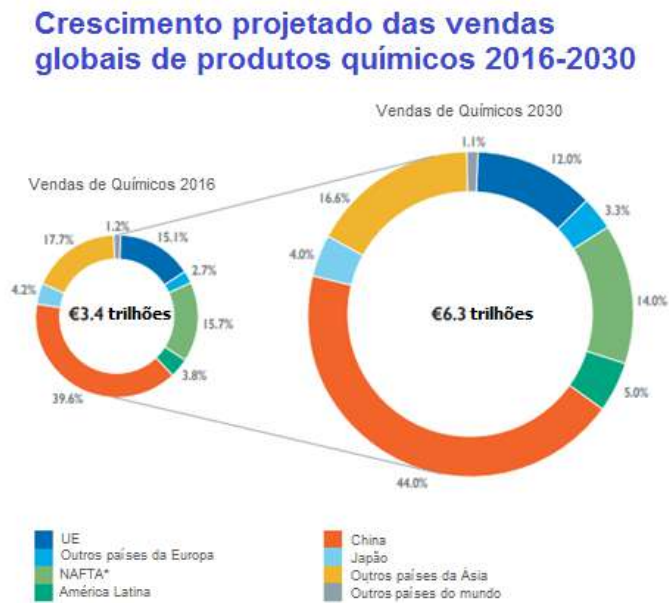


Figura II.3: Venda de produtos químicos por países ou regiões em 2016 e projeção para 2030.
Fonte: CEFIC, 2017.

Em relação à Manufatura do Futuro, serão analisadas algumas das iniciativas por parte das maiores empresas químicas globais no capítulo cinco deste trabalho. A partir dessas informações e das particularidades da indústria química aqui apresentadas, visa-se entender o estado do processo de adoção das tecnologias digitais habilitadoras da Indústria 4.0 (a serem discutidas no capítulo quatro) e também compará-lo com outras indústrias. Antes de avaliar o que tem sido feito pelas empresas químicas no mundo, é necessário entender o contexto na qual elas se encontram. Para isso, serão avaliados brevemente os perfis de países e regiões selecionados que estão investindo fortemente na Manufatura do Futuro no capítulo seguinte.

III. Manufatura do Futuro: Cenário Global

Neste capítulo serão discutidas algumas das principais iniciativas relacionadas à Manufatura do Futuro no contexto global. Antes disso, porém, faz-se uma revisão sobre a origem do termo “Indústria 4.0”, que foi a iniciativa pioneira da digitalização da manufatura e também a criação do Industrial Internet Consortium (IIC), que é atualmente o maior consórcio de parceiros em Manufatura do Futuro no mundo. Serão discutidos também alguns dos fatores que contribuíram para a adoção de políticas de digitalização por parte das grandes economias industriais. Por fim, serão apresentadas as iniciativas de alguns países ou regiões selecionados, dentre eles a União Européia, a Alemanha, os Estados Unidos, o Japão, a China e o Brasil. Foram adicionadas também informações sobre a indústria química de cada um desses países ou regiões para ajudar na contextualização das iniciativas de Manufatura do Futuro das empresas químicas, no capítulo 5.

I.1 III.1. Histórico e Contexto

De acordo com Schuh *et al.* (2017), o termo "Industrie 4.0" foi introduzido em 2011 pelo grupo alemão *Industry-Science Research Alliance* para descrever a ampla integração da tecnologia de informação e comunicação na produção industrial. O "4.0" alude a como o impacto potencialmente revolucionário dessa tendência segue diretamente os passos das três revoluções industriais anteriores e, desde 2011, várias iniciativas que abordam o tema da produção industrial digitalmente conectada surgiram em todo o mundo. Na Alemanha, em especial, essa estratégia foi vista como essencial para assegurar o futuro da manufatura nacional (MACDOUGALL, 2014). Além de ser a consequência natural da digitalização e do uso mais disseminado das tecnologias da comunicação e informação, a introdução da Indústria 4.0 também está ligada ao fato de que muitas das possibilidades exploradas para aumentar o lucro na produção industrial estarem quase esgotadas (ROJKO, 2017).

Na América do Norte, um conceito parecido foi introduzido pela empresa General Electric sob o nome de Internet Industrial, que é uma forte integração dos mundos físico e digital usando tecnologias-chave (ROJKO, 2017). Ainda em 2011, o governo dos Estados Unidos lançou seu próprio programa de Manufatura do Futuro por meio da *Advanced Manufacturing Partnership*, porém apresentando uma estratégia de aplicação mais ampla que a alemã e abrangendo outros setores como de geração e distribuição de energia, saúde,

setor público, transporte e mineração, além da manufatura. Em 2014, ocorreu nos Estados Unidos a criação do *Industrial Internet Consortium* (IIC), pelas companhias AT&T, Cisco, GE, IBM e Intel, como fruto da necessidade de um ecossistema que permitisse a inovação em várias empresas e tecnologias (MELLOR, 2015).

Segundo o site do consórcio (IIC, 2018), a sua missão é promover o crescimento acelerado da Internet industrial, coordenando as iniciativas para conectar, controlar e integrar ativos e sistemas de ativos com pessoas, processos e dados usando arquiteturas comuns, interoperabilidade e padrões abertos e, assim, gerar resultados empresariais e sociais transformacionais em todos os setores e infra-estrutura pública. O IIC é internacional e inclui mais de 250 organizações de mais de 30 países, dentre pequenos e grandes inovadores de tecnologia, líderes de mercado, pesquisadores, universidades e organizações governamentais (DIAB, 2017). Atualmente, o IIC coopera com as plataformas de Manufatura do Futuro de outros países como a Plattform 4.0 da Alemanha e também a Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII, 2017).

Em 2015, países como a França e a China introduziram suas próprias iniciativas ligadas à Manufatura do Futuro, com o objetivo de garantir o futuro de suas indústrias nacionais. No caso da China, essa iniciativa é o principal habilitador de uma estratégia nacional ambiciosa de longo prazo de reformar a indústria manufatureira chinesa, passando da grande produção de produtos de baixo custo para a manufatura de produtos de alto valor agregado e, conseqüentemente, assumir o domínio da Alemanha e do Japão na indústria de tecnologia de ponta até 2035 (ROJKO, 2017). Em 2018, a maioria parte dos países membros do G20⁷ já lançou uma iniciativa de digitalização e uso de tecnologias inovadoras em suas indústrias.

Segundo a OECD (2015), essa próxima revolução da produção tem o potencial de mudar completamente a forma como a produção será organizada em uma escala global. Diferentes tecnologias reduzem as economias de escala na produção e, portanto, alteram a topografia das cadeias de valor globais. Enquanto cenários mais pessimistas tradicionalmente previam um futuro sombrio para a produção nas economias da OECD, cada vez mais sugere-se que esta próxima revolução industrial pode gerar oportunidades novas e importantes para os

⁷ O Grupo dos Vinte (G20) é um fórum internacional formado pelas 20 principais economias do mundo, sendo 19 países e a União Europeia (Tambini, 2017). Os países membros são: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, México, Rússia, Arábia Saudita, Coreia do Sul, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos da América, China e África do Sul. A Espanha também participa de todas as cúpulas do G20 como convidado permanente. O grupo responde por 85% do PIB mundial e dois terços de sua população.

países desenvolvidos. De fato, o relatório *Reflexões críticas a partir de experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada* (DAUDT e WILLCOX, 2017) chama atenção para o fato de que as experiências em manufatura do futuro constituem um conjunto de políticas visando a retomada da primazia industrial entre países mais desenvolvidos do mundo.

Segundo Sikin *et al.* (2014), pela maior parte das três últimas décadas, a América Latina, a Europa Oriental e a maior parte da Ásia foram vistas como regiões de baixo custo de produção enquanto os EUA, a Europa Ocidental e o Japão foram vistos como tendo altos custos, porém anos de mudanças constantes em salários, produtividade, custos de energia, valores cambiais e outros fatores estão redimensionando silenciosamente, mas dramaticamente, o mapa da competitividade global dos custos de fabricação. Isso pode ser uma vantagem para as potências econômicas que buscam promover sua reindustrialização atualmente. Entretanto, isso não significa que benefícios advindos da Manufatura do Futuro não possam ser alcançados nos países em desenvolvimento. Na realidade, as economias emergentes também estão visando o possível advento de uma próxima revolução da produção, não só para proteger sua competitividade industrial em tempos em que gradualmente perdem sua vantagem de custos de mão-de-obra, mas também porque pode ajudá-los a adentrar atividades produtivas de maior valor agregado (OECD, 2015).

Um estudo da Acatech (GAUSEMEIER *et al.*, 2016) realizado com o auxílio especialistas da Alemanha, Estados Unidos, China, Japão, Reino Unido e Coréia do Sul, mostra a expectativa de que a transição para a Manufatura do Futuro resulte em ganhos em produtividade, aumento da competitividade global e reforço da indústria em seus respectivos países. Ou seja, a manufatura avançada pode ser vista como a busca de primazia industrial entre as nações, dando origens a políticas orientadas pelas especificidades e problemas de cada país (DAUDT e WILLCOX, 2017). A figura III.1 mostra alguns dos focos identificados nos Estados Unidos, China, Japão, Coréia do Sul e no bloco europeu.



Figura III.1: Foco atual de países e regiões selecionadas no contexto da Manufatura do Futuro.

Fonte: Gausemeier *et al.*, 2016.

Pode-se perceber quatro focos diferentes entre os países ou regiões. Na União Europeia, os objetivos variam ligeiramente entre os países membros, conforme será visto na próxima subseção. A Alemanha, país berço da iniciativa “Indústria 4.0”, se concentra nas tecnologias que proporcionarão um aumento da eficiência operacional. Os Estados Unidos, por outro lado, propõem inovação e mudanças disruptivas que não se restringem apenas à manufatura. O Japão e a Coreia do Sul adotaram uma estratégia intermediária, conciliando inovação e excelência operacional. Já o objetivo da China é aplicar tecnologias selecionadas nas áreas que proporcionem o maior ganho de competitividade para suas indústrias. A seguir será feita uma breve revisão das iniciativas nesses países ou regiões. Além disso, será discutida também a abordagem do Brasil nesse contexto.

III.2. Iniciativas globais em Manufatura do Futuro

- **Europa**

Segundo Gausemeier *et al.* (2016), o objetivo global de implementação da Indústria 4.0 na Europa é recuperar a competitividade industrial – especialmente como local atrativo para manufatura - bem como a criação (ou preservação) de empregos para enfrentar os efeitos da crise financeira e econômica. A *High-Tech-Strategy* alemã, que será discutida a seguir, ou a francesa *Industrie du Futur*⁸ são exemplos para iniciativas europeias correspondentes. De acordo com o relatório *Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe* (KLITOU *et al.*, 2017), em resposta aos desafios, a maioria dos governos da UE fez da Indústria 4.0 uma prioridade ao adotar políticas a ela relacionadas em grande escala, com o objetivo de aumentar a produtividade e a competitividade e melhorar as habilidades de qualificação de sua força de trabalho. A tabela III.1 reúne algumas das principais iniciativas européias, indicando seus nomes, anos de criação, focos, objetivos, públicos-alvo, orçamentos, formas de financiamento e resultados já alcançados. Apesar da recente saída do Reino Unido da União Européia, ele será considerado devido à sua relevância no cenário da manufatura mundial.

⁸ A iniciativa *Industrie du Futur*, que é o projeto de manufatura avançada contido no programa *Nouvelle France Industrielle*, tem por objetivo modernizar o aparato produtivo e apoiar as empresas industriais na transformação de seus modelos de negócios, organização, modos de design e de marketing por meio das tecnologias digitais. Para isso, o governo francês promoveu a criação da Aliança Indústria do Futuro, que trabalha em torno de cinco pilares: desenvolvimento da oferta tecnológica, acompanhamento de empresas, treinamento de funcionários, promoção da manufatura do futuro e reforço da cooperação européia e internacional.

Tabela III.1: Dados sobre iniciativas selecionadas da Manufatura do Futuro entre os países europeus.

País	Iniciativa	Ano	Foco	Objetivo	Público-alvo	Orçamento (€)	Abordagem de Financiamento	Resultados Atingidos
Alemanha	Plattform Industrie 4.0	2011	Inovação tecnológica baseada nos principais pilares como integração horizontal ao longo de redes de valor, engenharia end-to-end, integração vertical, incluindo aspectos de segurança e considerando novas formas de trabalho e educação	Para impulsionar a fabricação digital, aumentando a digitalização e a interconexão de produtos, cadeias de valor e modelos de negócios; para apoiar a pesquisa, a rede de parceiros da indústria e a padronização	Produtores, PMEs e formuladores de políticas	€200 milhões complementados por contribuições financeiras e em espécie da indústria	Combinação de financiamento público com contribuições financeiras e em espécie privadas; uma proporção de 2:1 ou 5:1 entre investimento privado e investimento público	Reduzir a segregação industrial, transformando a agenda de pesquisa em prática, desenvolvendo arquitetura de referência e lançamento de uma plataforma com 150 membros
França	Alliance pour l'Industrie du Futur	2015	Incentivos ao diagnóstico e modernização das PME; Desenvolvimento da oferta nacional; Mostrar projetos piloto; Desenvolvimento de técnicas avançadas de fabricação	Modernizar a base de produção francesa e ferramentas de produção e apoiar o uso e a integração de tecnologias digitais para transformar empresas e modelos de negócios; criar novas fontes de crescimento e emprego	Indústria francesa e base produtiva e, em especial, PME e empresas de média capitalização	Aprox. €10 bilhões dentre fontes públicas e contribuições do setor privado	Misturar instrumentos de financiamento público como empréstimos e incentivos fiscais com investimentos privados em P&D e linhas de produção. Proporção 5:1 entre investimentos privados e públicos	800 empréstimos a empresas; 3400 avaliações de empresas para modernizar a produção, 300 especialistas identificados; envolvimento de 18 regiões
Reino Unido*	High Value Manufacturing Catapult (HVMC)	2012	Apoiar empresas no campo de fabricação de alto valor, ou seja, um alto nível de intensidade de P&D, levando a um crescimento significativo	Impulsionar o crescimento da manufatura no Reino Unido	Organizações empresariais, industriais e de pesquisa	€164 milhões em fundos públicos para 2012-2018; para 2015/16: €79,7 milhões de receita comercial; €61,3 milhões em público; P&D colaborativo de €62 milhões	Financiado para igualdade de condições por financiamento público, empresarial e público-privado	O valor do trabalho de inovação representou 123% da meta; Cada €1 de financiamento público gerou €17 em retorno.
Itália	Cluster Fabbrica Intelligente (CFI)	2012	Foco nos tópicos de pesquisa para o desenvolvimento de novos setores e produtos (manufatura sustentável, manufatura adaptativa, manufatura inteligente e manufatura de alto desempenho); Suporte a transferência de tecnologia, conhecimento e infraestrutura	Propor, desenvolver e implementar uma estratégia baseada em pesquisa e inovação, capaz de direcionar a transformação do setor manufatureiro italiano para novos produtos, serviços, processos e tecnologias.	Organizações do ecossistema fabril inteligente, incluindo grandes empresas, PMEs, universidades, centros de pesquisa.	€45 milhões com base em €34 milhões em financiamento público e €11 milhões em financiamento privado	Principalmente financiado publicamente, mais ainda com processo previsto para o modelo de financiamento misto	Criando uma comunidade de plataforma e manufatura e implementando quatro projetos de pesquisa prioritários
Holanda	Smart Industry	2014	Aceleração da introdução de TIC na fabricação e adaptação de cadeias de valor de negócios, aproveitando o conhecimento existente	Para garantir que a indústria holandesa esteja preparada para as mudanças tecnológicas à frente.	Comunidade empresarial em geral, foco específico na indústria de alta tecnologia, setores químico, agroalimentar e de logística	Cerca de €25 milhões para o período de 2014-2017 complementados por co-financiamento por indústria	Combinando financiamento público do estado e orçamentos europeus de desenvolvimento regional com apoio financeiro e contribuições em espécie da indústria	Criação de 14 laboratórios de campo até o final de 2016; cada laboratório de campo tem faturamento de € 250.000 a € 4 milhões por ano.
Espanha	Indústria conectada 4.0	2016	Aumentar o valor agregado industrial e o emprego qualificado no setor; desenvolver o fornecimento local de soluções digitais; desenvolver alavancas competitivas diferenciadas para favorecer a indústria espanhola e impulsionar as exportações.	Melhoria da indústria para sustentabilidade econômica; Eficiência da manufatura para sustentabilidade ambiental; Emprego de qualidade para a sustentabilidade social	Empresas com atividade industrial, em especial PME e microempresas	€97,5 milhões para convites a projetos para 2016; €78 milhões de programas relacionados adicionais	Parcerias público-privadas, sistema baseado em empréstimos e auxílio direto para assegurar a participação do setor privado com o esperado efeito de alavancagem de 1:2	Criação de programa de inovação e pesquisa em junho de 2016 e piloto do programa de apoio às empresas
Suécia	Produktion 2030	2013	Desenvolver liderança e habilidades em produção sustentável	Para garantir que até 2030 a Suécia seja a principal escolha para a produção sustentável	Institutos de pesquisa, universidades e empresas / PMEs das áreas de indústria e serviços	€50 milhões: €25 milhões oferecidos pela VINNOVA para o período 2013-2018 e aprox. €25 milhões de euros da indústria	Financiamento público e cofinanciamento da indústria - normalmente necessários para financiar cerca de 50% dos custos do projeto em projetos de pesquisa	Financiou 30 projetos, envolveu mais de 150 empresas, criou uma escola de doutorado e obteve 50% do cofinanciamento da indústria para cada atividade e instrumento

Fonte: Adaptado de Kitou *et al.*, 2017.

Embora as políticas voltadas para a Industry 4.0 tenham objetivos comuns, todas possuem elementos que dão a cada política um toque exclusivo, pois são resultado direto de um quadro nacional abrangente, estratégia ou agenda que visa combater os desafios específicos de cada país (KLITOU *et al.*, 2017). Na França, os problemas no desenvolvimento de indústrias digitais competitivas foram as forças motrizes por trás da iniciativa. Na Holanda, pelo contrário, foi a parcela relativamente baixa de empregos ligados ao setor manufatureiro que levou à criação da *Smart Industry*. Alguns dos objetivos compartilhados pela maioria das iniciativas nacionais europeias são fornecer tecnologias de última geração, desenvolver novos produtos e aprimorar processos industriais e dar suporte às Pequenas e Médias Empresas (PMEs) para inovação e comercialização. Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e sustentabilidade também foram mencionados como parte das estratégias europeias da Manufatura do Futuro.

Do ponto de vista da UE como um todo, há grande interesse em promover a digitalização da indústria, conforme mostra o relatório *Digitising European Industry: Reaping the Full Benefits of a Digital Single Market (DSM)* publicado pela Comissão Europeia (CE, 2016). Do ponto de vista da Comissão, alcançar um mercado único digital na Europa é um pré-requisito para atrair investimento em inovações digitais e promover um crescimento mais rápido da economia. Por isso, foi iniciada, em 2015, uma estratégia para a maximizar o potencial de crescimento da economia digital. Essa iniciativa contém as principais alavancas para melhorar a digitalização do setor, com ações em áreas como Internet of Things, computação em nuvem, economia baseada em dados, padronizações, habilidades técnicas e governo eletrônico. Estima-se que liberar todo o potencial de crescimento adicional de um Mercado Único Digital conectado irá gerar cerca de 415 bilhões de euros em novo crescimento por ano e a conclusão da implementação dessa estratégia permanecerá no topo da agenda da Comissão Europeia (PROBST *et al.*, 2017).

Com relação a computação em nuvem e a economia baseada em dados, a Comissão Europeia lançou a iniciativa *European Open Science Cloud* (CAUDET *et al.*, 2016). Essa nuvem teria o potencial de oferecer a 1,7 milhões de pesquisadores na Europa e 70 milhões de profissionais de TI um ambiente virtual para armazenar, compartilhar e reutilizar seus dados. Focando inicialmente na comunidade científica - na Europa e entre seus parceiros globais -, a base de usuários com o tempo será ampliada para o setor público e para a indústria. O investimento necessário para implementar essa iniciativa é estimado em 6,7

bilhões de euros. A Comissão estima que 2 bilhões de euros virão do financiamento do programa Horizonte 2020⁹, enquanto o restante deverá ser requerido de órgãos públicos e empresas privadas. Independente do objetivo principal de cada país, todas as estratégias parecem convergir na importância de se investir nas tecnologias de informação e comunicação. A figura III.2 mostra a composição dos investimentos europeus no mercado dessas tecnologias, assim como sua a previsão para 2018. Percebe-se que o Reino Unido e a Alemanha lideram em quantidade de investimentos, seguidos pela França, Itália e Espanha, respectivamente.

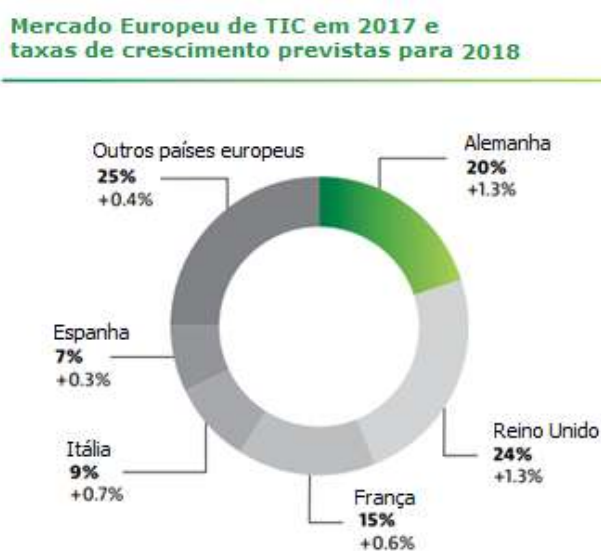


Figura III.2: Investimentos no mercado de tecnologias da informação e comunicação na Europa em 2017 e projeções de crescimento para 2018.

Fonte: *European Information Technology Observatory* (EITO), 2017.

A nível da UE, a indústria química (excluindo os produtos farmacêuticos) é a quinta maior indústria, contribuindo com cerca de 7% do valor acrescentado total da indústria da UE. A Alemanha e a França são os dois maiores produtores de produtos químicos, seguidos pela Itália e Holanda. Estes quatro países juntos representaram 61,7% das vendas de produtos químicos da UE em 2016, avaliados em 312,8 bilhões de euros (CEFIC, 2017). Segundo Keller *et al.* (2015), o mercado de produtos químicos da Europa deve crescer cerca de 1,5% ao ano até 2035 e a maior parte desse crescimento vai ocorrer nos segmentos de

⁹ O Horizonte 2020 é o principal programa da União Europeia dedicado à pesquisa e inovação, dispondo de um fundo de aproximadamente 80 bilhões de euros disponível no período de 2014 a 2020. O objetivo é garantir que a Europa produza ciência de classe mundial e para isso, o programa visa remover barreiras à inovação e facilitar a cooperação entre setores públicos e privados. (Fonte: European Commission – What is Horizon 2020?, 2017).

maior valor agregado, como agroquímicos e plásticos de engenharia, ambos superando o crescimento do PIB. Embora as vendas absolutas de químicos estejam aumentando, a participação da Europa no mercado de produtos químicos está diminuindo acentuadamente, principalmente devido à maior concorrência dos países asiáticos, que já detêm a maior parcela do mercado. Apesar disso, muitas das maiores empresas químicas do mundo são européias, como Basf, LyondellBasell, Ineos, Air Liquide, Linde, Akzonobel, dentre outras.

- **O caso alemão**

A Alemanha tem o quarto maior setor manufatureiro do mundo, gerando um total de quase US\$775 bilhões em 2016 (MARTIN *et al.*, 2018). As atividades industriais representam mais de um quinto do PIB da Alemanha (uma das mais altas parcelas da Europa), as empresas alemãs geram mais de um quarto do volume de negócios industriais da União Europeia (UE) e possuem forte demanda no exterior (O’SULLIVAN *et al.*, 2013). Com o lançamento da proposta “*Industrie 4.0*” em 2011, a Alemanha foi um dos primeiros países a aumentar a digitalização e a interconexão de produtos, cadeias de valor¹⁰ e modelos de negócios¹¹ para impulsionar a fabricação digital. Sendo assim, a Alemanha é amplamente reconhecida como uma pioneira na Quarta Revolução Industrial e está assumindo um papel de liderança na construção de padrões e normas para adoção internacional (MARTIN *et al.*, 2018).

De acordo com o estudo *Industry 4.0: Manufacturing for the future* da Germany Trade & Invest (MACDOUGALL, 2014), o governo alemão aprovou o plano de ação da sua *High-Tech Strategy* em março de 2012. Essa iniciativa conta com a participação de empresas importantes (tais como Siemens, Volkswagen, Bosch, Kuka, ABB, Festo e IBM), primordialmente alemãs, e que interagem com diversas outras empresas de pequeno e médio porte em sua cadeia produtiva (DAUDT e WILLCOX, 2017). Desde então, o plano vem sendo constantemente atualizado e sua mais atual versão identifica 10 "Projetos Futuros" -

¹⁰ A cadeia de valor foi desenvolvida inicialmente como uma ideia de negócio no segundo capítulo do livro “Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando Desempenho Superior” por Michael Porter (Hindle, 2008). Segundo o dicionário Cambridge, uma cadeia de valor corresponde a uma série de etapas envolvidas na produção de um produto ou serviço que é vendido aos consumidores, com cada estágio aumentando o valor do produto ou serviço ou a uma série de empresas envolvidas nos diferentes estágios de produção de um produto ou serviço que é vendido aos consumidores, com cada estágio aumentando seu valor.

¹¹ De acordo com o dicionário Cambridge, um modelo de negócios é a descrição das diferentes partes de uma empresa ou organização que mostra como eles trabalham para alcançar o sucesso e retorno financeiro. Segundo Magretta (2002), todos os novos modelos de negócios são variações da cadeia de valor genérica subjacente a todos os negócios.

incluindo o da Indústria 4.0 - que são considerados como críticos para abordar e realizar os objetivos atuais da política de inovação da Alemanha. O projeto Indústria 4.0 recebeu um financiamento de 200 milhões de euros na *High-Tech Strategy 2020* e, embora o modelo de financiamento seja baseado em fontes públicas, que visam pesquisa, construção de parcerias, centros de competência e *testbeds*¹², as contribuições da indústria também são fontes complementares (KLITOU *et al.*, 2017). Segundo Daudt e Willcox (2017), um mapeamento recente na Alemanha revelou 33 *testbeds* no país e 267 casos de aplicação em empresas.

Na Alemanha, a liderança tecnológica na fabricação permitiu que o país se tornasse um fornecedor líder no campo dos sistemas ciberfísicos (CPS) de fabricação inteligentes (KARGERMANN *et al.*, 2016). Isso é refletido pela criação do *Agenda CPS*, um programa liderado pela Academia Nacional Alemã de Ciências e Engenharia em nome do Ministério Federal da Educação e Pesquisa. O objetivo seria estabelecer uma agenda de pesquisa integrada dos sistemas ciberfísicos que permita à Alemanha moldar essa tecnologia e assumir a liderança como seu provedor (MACDOUGALL, 2014). A Agenda CPS identificou quatro principais campos de aplicação até o ano 2025: "Energia" (sistemas ciberfísicos para a rede inteligente); "Mobilidade" (sistemas ciberfísicos para mobilidade em rede); "Saúde" (sistemas ciberfísicos para telemedicina e diagnóstico remoto); e, por fim, "Indústria" (sistemas ciberfísicos para indústria e produção automatizada).

Pode-se perceber que o caso alemão está ligado a uma concepção mais clássica de automação e robotização. Segundo Daudt e Willcox (2017), a estratégia alemã está voltada para reforçar a capacidade exportadora da indústria de máquinas e equipamentos e também reduzir os custos de produção internos. Assim, os focos são claramente exportação, competitividade e manutenção de empregos. Segundo Karger mann *et al.* (2016), na abordagem alemã da Manufatura do Futuro, novas tecnologias e visões tecnológicas estão no topo da agenda, enquanto menos atenção é dada aos fatores e oportunidades comerciais, como novos modelos de negócios digitais e produtos inteligentes. Apesar disso, 83% das empresas alemãs acreditam que suas cadeias de valor serão marcadas por um alto nível de digitalização até 2020 e uma em cada quatro empresas já se considera "altamente digitalizada" (ALTHAUS *et al.*, 2018).

¹² Os testbeds são experimentos controlados realizados em um ambiente que simula condições do mundo real, nos quais soluções de Internet Industrial são desenvolvidas e testadas para comprovar de forma prática a viabilidade técnica e econômica de produtos e serviços inovadores (Rizzo, 2018).

Com relação à indústria química, a Alemanha mantém seu lugar como o maior país produtor de produtos químicos na Europa, com vendas de químicos que somam €145 bilhões, representando 4,3% das vendas globais de produtos químicos em 2016, segundo a CEFIC (2017). A indústria química (e farmacêutica) alemã é a terceira maior indústria do país, com um volume de negócios inferior apenas aos dos setores automotivo e de produção de máquinas e equipamentos e seus principais mercados clientes são os outros países da União Européia e, em menor escala, os Estados Unidos. Segundo Westerheide *et al.* (2017), há previsão de um menor potencial de crescimento da indústria de químicos de base na Alemanha em relação aos outros países industriais (como China e EUA), principalmente devido ao alto custo de matérias-primas e energia na comparação internacional.

No setor de especialidades químicas, por outro lado, as vantagens de conhecimento da indústria química alemã asseguram sua posição competitiva. Além de grandes empresas, que produzem predominantemente especialidades químicas em estruturas integradas com produtos químicos de base, especialidades químicas são encontradas em muitas PMEs, que formam o chamado “Mittelstand”, que contribui com quase um terço para as vendas totais da indústria química alemã. Sendo fornecedores de soluções específicas - principalmente de produtos químicos finos e especializados - para clientes, muitas dessas empresas são líderes de mercado global em seus campos de atuação. Ademais, a posição global eminente da indústria química alemã é atribuível também ao fato do país ser tradicionalmente um forte local de pesquisa, gerando inovações contínuas em produtos e processos (WESTERHEIDE *et al.*, 2017). Atualmente, a instituição Fraunhofer-Gesellschaft opera 69 institutos de pesquisa na Alemanha, que trabalham com um orçamento anual de 2,1 bilhões de euros (FRAUNHOFER, 2016).

- **Estados Unidos**

O setor manufatureiro dos Estados Unidos é o segundo maior do mundo, com um valor acrescentado da indústria (*Manufacturing Value Added* - MVA) de quase US\$ 2 trilhões em 2016, representando cerca de 16% do valor agregado da manufatura global e 12% do PIB dos EUA (MARTIN *et al.*, 2018). Nos EUA, a manufatura impulsiona a produção de conhecimento e a inovação no país, apoiando dois terços da pesquisa e desenvolvimento no setor privado e empregando a grande maioria dos cientistas, engenheiros e técnicos

(PCAST, 2014). Entretanto, os EUA viram a atividade industrial entrar em declínio na década de 2000, com o fechamento de várias fábricas e tiveram sua liderança tecnológica ameaçada por uma concorrência crescente no exterior. Além disso, grandes empresas dos EUA têm deslocado (“*offshoring*”) suas plantas de produção e, mais recentemente, seus centros de P&D para outros países. Essa tendência é exemplificada pelo investimento estratégico de pesquisa e desenvolvimento da antiga DuPont na Índia ou pelos novos centros de P&D da IBM na China (WESSNER e WOLFF, 2012).

Esse deslocamento em grande escala das fábricas não implicou simplesmente no fato de as novas tecnologias e produtos gerados nos EUA - tais como baterias recarregáveis de íons de lítio, monitores de cristais líquidos, cerâmicas de óxido, células solares e semicondutores - terem sido fabricados no exterior, mas resultou também em um processo de desvinculação da produção e da inovação que prejudicou a capacidade de inovação dos EUA (TASSEY, 2010). Diante dessa situação, o desejo atual dos EUA é desenvolver novas tecnologias habilitadoras e, a partir disso, se reposicionar como potência industrial (DAUDT e WILLCOX, 2017). Após a crise econômica, a reindustrialização dos Estados Unidos e a criação de emprego foram priorizadas. Para atingir esse objetivo, os EUA buscam reconstruir sua atratividade como local para produção industrial e restabelecer a competitividade da fabricação nacional na competição global (KAGERMANN *et al.*, 2016).

Foi esse cenário que motivou o Conselho de Assessores de Ciência e Tecnologia do Presidente (PCAST) e o Comitê Consultivo de Inovação e Tecnologia do Presidente (PITAC) a emitirem, em 2011, um relatório chamado “Garantir a liderança americana na fabricação avançada.” Esse relatório delineou uma estratégia e uma série de recomendações específicas para revitalizar a liderança dos EUA e marcou a entrada do país na transição para a Manufatura do Futuro. Com base nele, o presidente Obama lançou, em 2011, a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), um esforço nacional que reúne indústria, universidades, governo federal e outras partes interessadas para identificar tecnologias emergentes com o potencial de criar empregos na indústria doméstica e melhorar competitividade global dos EUA (PCAST, 2014).

Em 2013, o governo Obama lançou a AMP 2.0, que segue os objetivos da primeira parceria e é liderada pelo antigo CEO (*Chief Executive Officer*) da Dow Chemicals, Andrew Liveris e pelo presidente do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Rafael Reif. Segundo a PCAST (2014), reconhecendo que o setor manufatureiro dos EUA extrai a força

de uma multiplicidade de capacidades estreitamente vinculadas entre setor privado, academia e trabalho, a AMP 2.0 refletiu a ampla parceria necessária de comunidades, educadores, empresas, trabalho organizado e governo para acelerar a vantagem dos EUA na Manufatura do Futuro. Foram identificados três pilares para garantir um ecossistema para a liderança na manufatura avançada: habilitar a inovação, garantir a canalização do talento e melhorar o clima empresarial. De acordo com Daubt e Willcox (2017), a estratégia dos EUA está centrada na previsão de criação de 45 novos institutos de desenvolvimento tecnológico, chamados *Institutes for Manufacturing Innovation* (IMIs), que possuem foco temático definido e perspectivas bem abrangentes.

Esses institutos contam com fortes investimentos federais e com participantes de consórcios, empresas, universidades, estados, organizações não governamentais (ONGs). O montante do investimento governamental é de até US\$ 70 milhões por instituto (não reembolsáveis, distribuídos em cinco anos) e a esse financiamento é acrescida uma contrapartida, semelhante ou maior, de fontes privadas. Alguns dos IMIs já operantes incluem o *America Makes* (foco em manufatura aditiva, apoiado pelas forças aéreas), o *Power America* (soluções de energia, apoiado pelo setor energético), o *Digital Manufacturing and Design Innovation Institute* e o *American Lightweight Materials Manufacturing Innovation Institute*, ambos apoiados pelas forças armadas (PCAST, 2014). Entretanto, o governo Trump submeteu, em 2017, uma proposta orçamentária que ameaça cortar programas, como o *Manufacturing Extension Partnership*, que presta serviços para pequenas empresas de manufatura há quase trinta anos, e também reduzir gastos da rede IMIs (BLOCK, 2017).

Em 2015, os membros do PCAST optaram por examinar atentamente oito áreas específicas de um conjunto mais amplo de temas, dos quais todas são críticas para o futuro da tecnologia da informação (TI): segurança cibernética, saúde, *big data* e computação intensiva em dados, TI e mundo físico, proteção da privacidade, sistemas ciber-humanos, computação de alta capacidade e pesquisa de computação fundamental (PCAST, 2015). Individualmente ou em combinação, eles definiram esses oito tópicos como relevantes para muitas prioridades nacionais. O administração do atual president, porém, tem adotado uma abordagem de manufatura tradicional, deixando a implementação de novas tecnologias de lado (KARSTEN, 2017). Até agora, o plano de Trump para impulsionar o emprego industrial envolve pressionar parceiros comerciais internacionais a renegociar acordos

comerciais (como o NAFTA), adotar tarifas sobre importações para proteger os produtores dos EUA, reduzir a alíquota do imposto corporativo e reverter alguns dos regulamentos existentes.

Diante da recente mudança na administração do país, é difícil prever por quais caminhos os Estados Unidos irão avançar na Indústria 4.0 nos próximos anos. Gausemeier *et al.* (2016) analisaram as atividades americanas relacionadas à Manufatura do Futuro e afirmaram que, em contraste com a Alemanha, o foco dos EUA é, principalmente, a realização de novos produtos e serviços, modelos de negócios inovadores e promessas de benefícios para o cliente. Além disso, visava-se a implementar tecnologias inteligentes e aproveitar o grande potencial do Vale do Silício, devido às competências existentes e ao sistema de inovação disponível no campo de serviços baseados em dados.

No que diz respeito à indústria química, os EUA são o país com o segundo maior volume de vendas de produtos químicos no mundo, somando um total de 476 bilhões de euros (CEFIC, 2017). Internamente, a indústria química desempenha um papel importante no estímulo do crescimento futuro e da competitividade geral das exportações dos EUA, pois é uma das principais indústrias exportadoras do país, com US\$174 bilhões em exportações anuais, representando 14% de todas as exportações dos EUA em 2016 (ACC, 2017). Os principais mercados de exportação de produtos químicos dos EUA são os outros membros do NAFTA, Canadá e México. Segundo o *American Chemistry Council* (ACC, 2017), com a exploração do gás de xisto, os EUA deixaram de ser um produtor de alto custo de produtos petroquímicos e resinas chave para ser um dos produtores de menor custo globalmente. Essa mudança na competitividade está impulsionando fluxos significativos de novos investimentos de capital para os EUA, com 317 projetos relacionados a gás natural já anunciados, avaliados em mais de US\$185 bilhões (até dezembro de 2017). Além disso, mais de US\$88 bilhões em novos projetos foram concluídos ou estão atualmente em construção.

Segundo Westerheide *et al.* (2017), a disponibilidade de energia a preços favoráveis melhora a competitividade da indústria química americana, especialmente nos setores de materiais básicos mais intensivos em energia. Por isso, prevê-se que a produção em química básica nos EUA aumentará em até 2,7% ao ano até 2030 e o país manterá sua posição como segundo maior produtor global de químicos. Com relação às especialidades químicas, a melhoria nos produtos químicos dos campos petrolífero e de mineração, adesivos e produtos

químicos eletrônicos foram impulsionadores específicos para ganhos em 2017 e o ACC prevê que os setores de manufatura e construção deverão pressionar ainda mais a demanda em 2018, prevendo um crescimento de 2,3% nesse ano (HAYDON, 2017).

- **Japão**

O setor manufatureiro do Japão é atualmente o terceiro maior do mundo, com um total de MVA superior a US\$ 1 trilhão em 2016, representando quase 9% do valor agregado de manufatura global, de acordo com Martin *et al.* (2018). O Japão é uma das nações de fabricação mais sofisticadas do mundo com empresas líderes mundiais em uma variedade de indústrias. As empresas japonesas se especializam em componentes e produtos de alta qualidade e se destacam no gerenciamento de redes industriais globais complexas (O'SULLIVAN *et al.*, 2013). De acordo com Kagermann *et al.* (2016), a indústria 4.0 já está bem avançada no Japão. A competência de alto nível em tecnologia de automação, em combinação com a proximidade de mercados em crescimento como a China, é uma grande oportunidade para as indústrias japonesas de automação e TIC (GAUSEMEIER *et al.*, 2016).

Em 2016, o governo lançou uma iniciativa chamada *Society 5.0*, como estratégia para usar tecnologias digitais emergentes não apenas para transformar a produção, mas toda a sociedade. Além disso, o governo adicionou a *Connected Industries* ao seu planejamento em 2017, a fim de apoiar as indústrias japonesas, incluindo a manufatura e outros setores, que criam novo valor agregado por meio da conexão de coisas, pessoas, tecnologias, organizações e outros elementos da sociedade (MARTIN *et al.*, 2018). Esse último programa aborda cinco áreas prioritárias (serviços automatizados de direção e mobilidade, manufatura e robótica, biotecnologias e materiais, gerenciamento de segurança de instalações/infraestrutura e vida inteligente) e inclui o uso de tecnologias digitais como inteligência artificial, IoT, big data e cibersegurança (METI, 2017).

Segundo Baller *et al.* (2016), o ambiente de negócios e inovação japonês está melhorando visivelmente nos últimos anos com maior disponibilidade de capital de risco, qualidade das escolas de gestão e contratação pública de tecnologias avançadas. Além disso, o país também continua investindo em suas infraestruturas. Por outro lado, o Japão está ligeiramente perdendo competitividade, principalmente porque outros países estão avançando mais rápido. A competição acirrada não é o único desafio que a manufatura

japonesa tem enfrentado nos últimos anos. O Japão enfrenta também desafios relacionados ao capital humano, com uma população que está envelhecendo e encolhendo, assim como uma migração menor do que outros países (MARTIN *et al.*, 2018). Estima-se que até 2020, o país perderá cerca de 600 mil pessoas por ano e obter crescimento nessas condições de encolhimento populacional é difícil (BREENE, 2016).

Além disso, assim como nos Estados Unidos, a transferência de produção e outras atividades de alto valor agregado (incluindo pesquisa, design e desenvolvimento) para o exterior também suscitaram preocupações no Japão. Ao longo dos últimos anos, os investimentos em P&D por empresas japonesas estão crescendo mais rápido no exterior do que no mercado interno, e algumas grandes corporações (Panasonic, Mitsui, Kirin, Suntory, entre outras) decidiram mudar suas atividades principais para fora do Japão e estabelecer sua base em Cingapura (HAYAKAWA e SHIINO, 2018). Em resposta a essa situação, novos centros de P&D que contam com tecnologia de ponta e com a participação da indústria, da academia e do governo foram anunciados para promover a aglomeração industrial e a comercialização de pesquisas conjuntas. Espera-se que estes centros contribuam para novos investimentos em P&D no setor privado e para alcançar o objetivo nacional de investimento em P&D de 4% do PIB até 2020 (O'SULLIVAN *et al.*, 2013).

A agenda política japonesa busca também facilitar a reorganização da estrutura industrial doméstica e promover uma participação mais ativa das suas empresas nos mercados globais. A intenção é apoiar uma mudança de uma estrutura "monopólio" baseada nos setores automotivo e eletrônico, para uma "multipolar" sustentável, habilitado pelo desenvolvimento de cinco campos industriais estratégicos: indústrias relacionadas à infraestrutura (por exemplo, nuclear, água e ferrovia); soluções de energia de próxima geração (por exemplo, comunidades inteligentes e automóveis de próxima geração); indústrias criativas; indústrias relacionadas à saúde; e campos de fronteira (por exemplo, robótica e aeroespacial) (O'SULLIVAN *et al.*, 2013). Ademais, sendo a maior superpotência robótica do mundo, o Japão proclamou que liderará o mundo com os robôs da era IoT e realizará uma revolução robótica compilada pelo Conselho de Realização da Revolução Robótica (METI, 2015).

Para prosseguir os esforços para o desenvolvimento estratégico dos recursos humanos em ciência e tecnologia através da colaboração entre indústria, academia e

governo, foi estabelecida e lançada a Estratégia para o Desenvolvimento de Recursos Humanos em Ciência e Tecnologia, em março de 2015 (METI, 2015). Essa estratégia resume as três direções e as 10 prioridades em que o governo deve se concentrar e progredir até o final do ano fiscal de 2020. O Ministério da Economia, Comércio e Tecnologia destaca também a criação de empreendimentos originários de universidades pelo Programa de Criação de Empresas Abertas de Pesquisa Avançada e Tecnologia e o desenvolvimento de recursos humanos avançados que estudam empreendedorismo e negócios pela iniciativa Melhorando o Desenvolvimento do Programa Global de Empreendedores. Esses programas visam apoio a jovens pesquisadores e estudantes de pós-graduação em colaboração com empresas privadas ou instituições no exterior (METI, 2015).

Atualmente, o Japão é o quarto país em volume de vendas de produtos químicos, logo atrás da Alemanha, somando um total de 140 bilhões de euros (CEFIC, 2017). De acordo com a *Japan Chemical Industry Association* (2018), a indústria química é a segunda maior exportadora do país, atrás somente do setor de equipamentos de transporte. Para 2018, no Japão, a economia não será tão forte, mas as empresas químicas poderão aumentar suas margens concentrando-se em materiais tecnologicamente avançados (TREMBLAY *et al.*, 2018). Apesar disso, Westerheide *et al.* (2017) afirmam que a indústria química japonesa quase não crescerá até 2030 e, conseqüentemente, o país perderá claramente em quotas do mercado mundial, se tornando o 5º maior produtor de produtos químicos nos próximos anos.

- **China**

O setor manufatureiro da China é o maior do mundo, com um MVA global total de quase US\$ 3 trilhões em 2016, representando aproximadamente um quarto do valor agregado da indústria manufatureira (MARTIN *et al.*, 2018). Em 2015, o governo lançou o “*Made in China 2025*” para atualizar o setor manufatureiro do país e financiar a inovação na fabricação. Na China, as iniciativas governamentais *Made in China 2025* e *InternetPlus* visam elevar a China ao ranking dos principais poderes de fabricação do mundo na próxima década e reduzir o consumo de energia, recursos e emissões atmosféricas por unidade de valor agregado industrial (OECD, 2017). Nessas iniciativas, o tamanho do mercado interno da China e o fato de ser relativamente fechado para o mundo exterior proporciona aos operadores de plataformas chinesas um ambiente favorável para o rápido crescimento

doméstico, a fim de gerar a massa crítica de clientes e produtos complementares necessários para abastecer uma subsequente expansão global (KAGERMANN *et al.*, 2016).

No *Made in China 2025*, um dos aspectos estratégicos mais importantes consiste na produção doméstica de partes e componentes de alto valor agregado, aumentando a porcentagem do conteúdo nacional utilizado nos produtos tecnológicos para 40% de componentes nacionais até o ano de 2020 e para 70% até 2025 (BARBOSA, 2017). . O programa prevê também apoio para a internacionalização de empresas chinesas a partir de compras de ativos no exterior. Além disso, o governo promete oferecer empréstimos volumoso a juros baixos, subsidiados, originários de fundos estatais e bancos de desenvolvimento, assim como assistência financeira para a aquisição de concorrentes estrangeiros e incentivos para pesquisa.

No 13º Plano de Cinco Anos (2016-2020), o governo chinês anunciou que a inovação está no centro da agenda do país. De acordo com o plano, o governo buscará o desenvolvimento impulsionado pela inovação, assegurará que as empresas iniciantes e a inovação floresçam, e fará com que a produtividade total dos fatores seja melhorada. O plano afirma também que a ciência e a tecnologia se tornarão mais profundamente incorporadas na economia, que grandes avanços serão feitos nas principais tecnologias em setores-chave e que a capacidade de inovação do país verá uma melhoria geral. A China planeja avançar o mais rápido possível nas principais tecnologias em áreas como as tecnologias de informação e comunicação, novas energias, novos materiais, aeronáutica, biomedicina e manufatura inteligente.

Segundo Gausemeier *et al.* (2016), a China quer evitar ficar para trás nas tecnologias de automação e, para isso, gerencia seu salto do baixo nível de automação atual para a implementação da mais moderna tecnologia disponível. Um importante objetivo secundário do país é fechar a lacuna com os líderes mundiais de fabricação avançada e para isso, tem realizado numerosos esforços para melhorar o seu nível de automação - particularmente em pequenas e médias empresas (PMEs). Em junho de 2016, a China anunciou um financiamento de US\$ 3 bilhões para um programa avançado de manufatura que visa impulsionar a fabricação de produtos de ponta e promover a modernização da indústria tradicional (MARCHESE *et al.*, 2017).

Apesar disso, uma pesquisa conduzida pela consultoria McKinsey (HOU *et al.*, 2017) indicou que as empresas chinesas estão menos preparadas para a Manufatura do Futuro do que as outras potências industriais. Segundo a pesquisa, apenas 9% das empresas atribuíram responsabilidades para as iniciativas da Indústria 4.0, em comparação com mais de um terço nos Estados Unidos e na Alemanha. Um número ainda menor de empresas chinesas (6%) tem um roteiro claro sobre o caminho a seguir, contra uma média de 20% de empresas com um plano de digitalização estruturado nos países mais desenvolvidos. Poucas empresas fizeram da digitalização uma prioridade ou aumentaram a consciência e as habilidades dos gerentes da linha de frente.

Segundo dados da CEFIC (2017), a China é atualmente o maior produtor mundial de produtos químicos. De 2006 a 2016, as vendas globais de produtos químicos aumentaram em 86,3%, com a China contribuindo com 70,2% para esse aumento. Como resultado, seu setor de produtos químicos apresenta um volume de vendas de 1331 bilhões de euros, equivalente a quase 40% das vendas globais em 2016. Isso significa que os níveis de vendas da China são maiores do que os próximos nove países juntos e tanto quanto os mercados do NAFTA e da UE juntos. Com o seu “13º Plano Quinquenal”, a China quer passar de "seguir a liderança" para "assumir a liderança" e de "grande país" para uma "grande potência" da indústria petrolífera e química, liderando a inovação tecnológica e o comércio e prevalecendo nos mercados internacionais (CEFIC, 2017).

- **Brasil**

O setor manufatureiro do Brasil é o 9º maior do mundo e responde por aproximadamente 10% do PIB nacional (MARTI *et al.*, 2018). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no acumulado de 2017, a produção industrial brasileira cresceu 2,5%, após três anos de quedas consecutivas (IBGE, 2018). Apesar disso, a mais recente pesquisa de Indicadores Industriais realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018) em março deste ano evidencia que a indústria segue enfrentando dificuldades e que sua recuperação continua lenta. Segundo a CNI, a transição para as novas formas de produção que caracterizam a Indústria 4.0 será decisiva para a aumentar competitividade da indústria brasileira e para promover a sua maior e melhor integração em cadeias globais de valor nos próximos anos (CNI, 2017).

Entretanto, o uso de tecnologias digitais na indústria brasileira ainda é pouco difundido. Uma pesquisa realizada pela CNI no começo de 2016 com 2.225 empresas, (sendo 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes) de 29 setores das indústrias de transformação e extrativa revelou que do total das indústrias, apenas 58% conhecem a importância das tecnologias da Manufatura do Futuro para a competitividade da indústria e menos da metade as utiliza. A figura III.3 mostra os resultados percentuais da utilização de tecnologias digitais por parte das empresas participantes da pesquisa, chamada “Sondagem Especial Indústria 4.0” (FONSECA *et al.*, 2016). Segundo a sondagem, outra característica da digitalização na indústria brasileira é o foco nos processos, ou seja, no aumento da eficiência e da produtividade.

Considerando apenas as empresas que adotam pelo menos uma das tecnologias digitais listadas, 73% adotam pelo menos uma tecnologia relacionada ao processo de produção; 47% relacionada à etapa de desenvolvimento da cadeia produtiva e 33% a produtos e novos negócios. A automação digital com sensores para identificação de produtos e condições operacionais (sistemas ciberfísicos) aparece, então, como a maior aposta das empresas. Simulações e análises com modelos virtuais são utilizadas por apenas 5% das empresas, assim como manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D.

As tecnologias focadas em produto também são pouco utilizadas: 9% das empresas coletam, processam e analisam grandes quantidades de dados (big data), 6% utilizam serviços em nuvem associados a produtos e 4% incorporam serviços digitais nos produtos (internet das coisas). Para as empresas avaliadas, as três principais medidas para acelerar a adoção de tecnologias digitais no país são o desenvolvimento da infraestrutura digital (banda larga, sensores), para 46%; o investimento em novos modelos de educação e em programas de treinamento, para 42% e o estabelecimento de linhas de financiamento específicas, para 37% das empresas. (FONSECA *et al.*, 2016).

Gráfico 1 – Utilização de pelo menos uma das 10 tecnologias digitais listadas

Percentual de respostas (%)

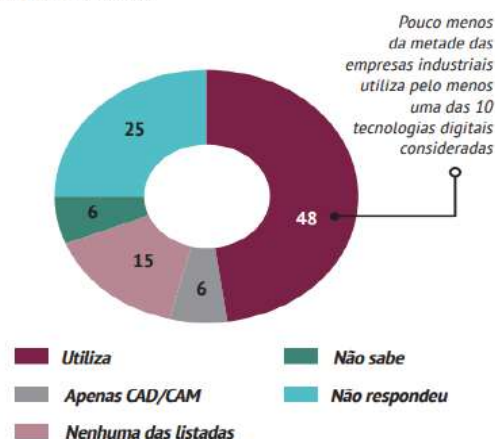


Figura III.3: Percentual de utilização de pelo menos uma dentre 10 tecnologias digitais da Indústria 4.0 pelas empresas estudadas.

Fonte: Fonseca *et al.*, 2016.

Diante desse cenário, a iniciativa brasileira de Indústria 4.0 foi lançada em março de 2018, quando o governo federal aproveitou a realização do Fórum Econômico Mundial em São Paulo para lançar um programa de modernização do parque industrial brasileiro que prevê linhas especiais de crédito que somam R\$ 9,1 bilhões (KLEIN, 2018). O objetivo do programa é que, até 2020, 18% da indústria nacional já tenha atualizado suas linhas de produção com base nas tecnologias avançadas da Manufatura do Futuro. Segundo o site da Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), apesar das diferentes medidas incluídas no pacote, os financiamentos representam o principal estímulo para as empresas. O BNDES será responsável por R\$5 bilhões em crédito já com juros mais baixos em razão do corte, de 1,7% para 0,9% ao ano. A Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), por sua vez, concederá R\$3 bilhões usando a Taxa de Juros de Longo Prazo mais até 1,5% ao ano. Já o Banco da Amazônia vai fornecer R\$1,1 bilhão, com taxas de 4,5% a 6,5% ao ano.

O governo brasileiro já lançou também a sua plataforma virtual da indústria 4.0¹³, na qual apresenta 10 medidas a serem tomadas no projeto. A primeira é promover a maior divulgação dos conceitos da Manufatura do Futuro no país. A segunda, é disponibilizar uma plataforma que avalie o nível de maturidade em relação à adoção de tecnologias de digitalização nas plantas industriais. A próxima medida é a criação de espaços digitais que

¹³ A Agenda Brasileira para Indústria 4.0 e suas iniciativas podem ser acessadas no site www.industria40.gov.br.

permitirão à empresa se conectar aos provedores de tecnologia para a digitalização e modernização do parque industrial, enquanto a quarta visa apoiar as empresas de menor porte. A quinta medida propõe R\$30 milhões em investimento público e privado para o financiamento de projetos de *testbeds* e a formatação de “fábricas do futuro”, entre 2018 e 2019.

Além disso, a iniciativa brasileira promete disponibilizar também mais R\$30 milhões em investimento público e privado para apoiar start-ups, segundo a plataforma. A ABDI pretende criar um ambiente de conexão entre startups e indústrias a fim de promover o desenvolvimento tecnológico de soluções a partir de demandas industriais, fomentar novas formas de gestão baseadas em métodos e ferramentas ágeis e foco em cliente e, sobretudo, ajudar na disseminação de processos que promovam a mudança cultural necessária para a inserção dos conceitos de Indústria 4.0 no Brasil. Essa medida amplia um projeto de apoio a start-ups que já vinha sendo realizado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). Segundo o diretor-presidente da Fapesp, Carlos Pacheco, a fundação chegou a cerca de 300 startups apoiadas em 2016 e que, nesse ano, foi feito um edital focado em manufatura avançada para pequenas e médias empresas (DAUDT e WILLCOX, 2017).

A sétima medida está voltada para a capacitação e requalificação de profissionais para habilitá-los nas tecnologias da Manufatura do Futuro, enquanto a oitava é composta por uma agenda de reformas legais e infra-legais que promovam a aceleração da jornada brasileira. Já a nona medida promete regras de financiamento favoráveis para a implantação da indústria 4.0 nas empresas. Por fim, a última medida se dispõe a reduzir barreiras de importação (incluindo isenção de impostos para importação de robôs e redução da alíquota para impressoras 3D), a aumentar a participação do Brasil no comércio internacional e a criar cooperações e projetos bilaterais em Indústria 4.0 com diferentes países.

A CNI e o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) lançaram, no final de 2017, um projeto chamado “Indústria 2027¹⁴”, que é voltado para avaliar como oito grupos de tecnologias vão impactar a economia no Brasil nos próximos cinco e dez anos. Esse projeto conta com a parceria da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Ele foi dividido em três etapas, sendo a primeira de análise de

¹⁴ Informações mais detalhadas disponíveis em <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-2027/>.

tendências das tecnologias e seus impactos potenciais. A segunda consiste em avaliar os efeitos da implementação dessas tecnologias nos setores produtivos, enquanto a última etapa é de concepção de estratégias públicas e privadas. Dessa forma, o projeto visa identificar como o Brasil pode crescer e aproveitar as oportunidades provenientes das tecnologias.

Segundo Fonseca *et al.* (2016), a indústria brasileira está seguindo um caminho que parece natural: no primeiro momento, foca no aumento de eficiência e, então, se move para aplicações mais voltadas ao desenvolvimento de novos produtos e aos novos modelos de negócio. No entanto, considerando a posição competitiva do Brasil na economia global, o mais recomendado seria que o esforço da digitalização fosse realizado, simultaneamente, em todas as dimensões. De acordo com uma projeção feita por Gausemeier *et al.* (2016), o cenário mais provável para a Manufatura do Futuro no Brasil para os próximos anos é de crescimento cauteloso devido a impulsos externos. Um dos principais entraves do Brasil é o seu quadro institucional, por isso a eficiência regulatória e a governança orientada para o futuro devem ser uma prioridade (MARTIN *et al.*, 2018). Com a quinta maior população do mundo, o país possui uma grande quantidade de recursos humanos, mas as capacidades atuais da força de trabalho ficam aquém das habilidades digitais, engenharia, pensamento crítico e outras áreas-chave que são fundamentais para o sucesso no futuro.

Com relação à indústria química, o Brasil é o nono país com maior volume de vendas de produtos químicos, somando 59 bilhões de euros em 2016 (CEFIC, 2017). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2018), o Brasil importou US\$ 37,2 bilhões em produtos químicos em 2017, valor pago pela aquisição de mais de 43,1 milhões de toneladas entre as diversas mercadorias no âmbito da balança comercial setorial. O déficit na balança comercial de produtos químicos totalizou US\$ 23,4 bilhões em 2017, fato que reverteu a série de três anos consecutivos de reduções pela qual o indicador passava.

Os principais fatores que levaram a esse aumento do déficit em 2017 foram a retomada da atividade econômica nacional, a safra de grãos recorde e a ausência de investimentos produtivos, que pudessem suprir essa nova demanda com o incremento da produção nacional. Por outro lado, a indústria química obteve faturamento recorde em 2017 e especialistas do setor acreditam que em 2018, a recuperação da economia brasileira e a saída da recessão apontam para uma melhora mais significativa, com aumento da demanda de químicos gerado, principalmente, pelos setores de agricultura e automotivo (CASARIN, 2018).

IV. As tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro

Neste capítulo, são abordadas as principais tecnologias digitais habilitadoras da Manufatura do Futuro, visando possibilitar um melhor entendimento das iniciativas das empresas químicas no capítulo cinco. Primeiramente, foram definidas sete tecnologias-chave necessárias para implementar a transformação digital por meio da análise de publicações relevantes para o setor industrial, como estudos das empresas de consultoria Deloitte, McKinsey, BCG e do banco de investimentos UBS, além de relatórios da CNI, PCAST, OECD e da Comissão Europeia e o livro “A Quarta Revolução Industrial”. É importante ressaltar que este trabalho considera apenas as tecnologias digitais e da comunicação e informação, não explorando o uso de biotecnologia e nanotecnologia. Ao longo do capítulo, as tecnologias selecionadas são estudadas separadamente a fim de explicar seus conceitos e funcionamento, além de apresentar seus possíveis benefícios e aplicações potenciais no âmbito das indústrias.

Durante as últimas décadas, a atividade manufatureira passou a abarcar um conjunto de processos que envolvem em maior grau as tecnologias da informação (TI), de forma que toda a informação gerada pudesse ser usada na definição de novos processos produtivos e no aprimoramento dos existentes (DAUDT e WILLCOX, 2017). Vale lembrar que a novidade nesse cenário não está relacionada à criação de novas tecnologias, mas na combinação de tecnologias já disponíveis em uma nova forma (DRATH, 2014).

De fato, a maioria das tecnologias digitais empregadas foi desenvolvida há anos, porém apenas recentemente alcançaram um estágio no qual disponibilidade, confiabilidade e custo são atrativos suficientes para aplicações industriais (SUNG, 2017). A OECD (2015) demonstrou expectativas de que os avanços tecnológicos aumentem a eficiência e a produtividade por meio de um melhor gerenciamento de inventário e da otimização de recursos e energia; criem novos produtos para novos mercados; promovam o desenvolvimento de modelos de negócios digitais e criem cadeias de valor completamente novos; estimulem e facilitem inovações radicais e, como tal, se tornem a pedra angular da competitividade futura.

As oportunidades comerciais e de pesquisa em sistemas que combinam TI com detecção e atuação - da Internet das Coisas às infra-estruturas inteligentes e à robótica - estão evoluindo rapidamente. Pesquisas em robótica, inteligência artificial, sistemas ciberfísicos e

áreas relacionadas irão impulsionar a inovação na TI básica, bem como o desenvolvimento de sistemas autônomos robustos e confiáveis que incorporem técnicas e sensores avançados (PCAST, 2015). A associação *Germany Trade & Invest* (2014) afirma que a incorporação da Internet das Coisas à produção permite a comunicação entre máquinas pela rede e, assim, revoluciona as fábricas pelo controle descentralizado.

Além disso, as memórias incorporadas nos produtos digitais guiam o fluxo flexível de partes através de fábricas inteligentes, de modo que a produção de baixo volume e alta variabilidade pode ser realizada de forma econômica. Ela destaca também que uma nova geração de sistemas auxiliares industriais que utilizam a realidade aumentada e a interação multimodal poderá ajudar os trabalhadores a lidar com a complexidade da produção ciberfísica e permitir novas formas de colaboração pelas mídias sociais digitais.

Um relatório da BCG (2015) aponta nove tecnologias para formar a indústria do futuro: *big data* e *analytics*; robôs autônomos; simulação; integração de sistemas (sistemas ciberfísicos); internet das coisas; segurança cibernética; computação em nuvem; manufatura aditiva e realidade aumentada. A tabela IV.1 traz uma compilação dos resultados obtidos na análise de publicações relevantes, incluindo organizações financeiras, grupos de consultorias, comissões e conselhos de pesquisa, indicando as tecnologias-chave selecionadas em cada uma. Baseado nos resultados encontrados, as tecnologias consideradas mais relevantes por um maior número de entidades são: sistemas ciberfísicos, *big data* e *analytics*, computação em nuvem, Internet das Coisas, manufatura aditiva, inteligência artificial e robótica.

Tabela IV.1: Tecnologias-chave por algumas publicações relevantes.

Fonte	Tecnologias-Chave
UBS Banco de Investimento, 2016	Inteligência artificial, big data, robôs, sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas
Boston Consulting Group (BCG), 2015	Big data e analytics, robôs autônomos, simulação, integração de sistemas (sistemas ciberfísicos), IoT, segurança cibernética, computação em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada
Comissão Européia, 2016	Internet das Coisas, big data e computação em nuvem, robótica, inteligência artificial e impressão em 3D
Schawb: A Quarta Revolução Industrial, 2016	Inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão 3-D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia e computação quântica
Conselho de Consultores da Presidência em Ciência e Tecnologia (PCAST), 2015	Manufatura aditiva, Internet das Coisas, robótica avançada, inteligência artificial, sistemas ciberfísicos, big data e analytics, cibersegurança, novos materiais
McKinsey Global Institute (MGI), 2012	Novos materiais, robótica avançada, impressão em 3D, big data e analytics, Internet das Coisas
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), 2015	Internet das Coisas, impressão 3D, big data e analytics, computação em nuvem, biotecnologia industrial e nanotecnologia
Deloitte Consultoria, 2016	Internet das Coisas, manufatura aditiva, analytics, sistemas ciberfísicos, materiais avançados, robôs autônomos, realidade aumentada, design digital e simulação
Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2016	internet das coisas, big data, computação em nuvem, robótica avançada, inteligência artificial, novos materiais e novas tecnologias de manufatura aditiva e híbrida

Fonte: Elaboração própria.

IV.1. Sistemas ciberfísicos

Um componente importante da Indústria 4.0 é a fusão dos mundos físico e virtual e, para esse fim, são usados os sistemas ciberfísicos (CPS). Segundo Lee (2008), esses sistemas são nada mais do que integrações de sistemas computacionais e físicos, por meio de computadores e redes embutidos que monitoram e controlam os processos físicos, usualmente com ciclos de retroalimentação, onde os processos físicos afetam a computação e vice-versa. Bauernhansl (2014) explica que o desenvolvimento dos CPS foi composto por três etapas. A primeira geração incluiu tecnologias de identificação como a RFID¹⁵ (*Radio*

² Nota: RFID ou identificação por radiofrequência é um sistema de etiquetagem que usa dispositivos a pequenas frequências de rádio para fins de identificação e rastreamento. Um sistema de etiquetagem RFID inclui a própria etiqueta, um aparelho de leitura/escrita e uma aplicação tipo host system para coletar, processar e transmitir dados (Lu et al., 2006). Segundo Jules, 2006, um dispositivo RFID - freqüentemente chamado de etiqueta RFID - é um microchip pequeno projetado para transmissão de dados sem fio, geralmente ligado a uma antena em uma embalagem que se assemelha a um adesivo adesivo comum. O próprio microchip pode ser tão pequeno como um

Frequency Identification), que permite a criação de uma identidade digital única para um determinado produto ou equipamento. A segunda geração de CPS foi equipada com sensores e atuadores com uma variedade limitada de funções, pois ainda não se comunicavam via Internet. Os CPS da terceira geração, mais modernos, são capazes de armazenar e analisar dados, são equipados com múltiplos sensores e atuadores e são compatíveis com a rede.

Lee *et al.* (2015) propuseram uma metodologia de desenvolvimento e implementação de um CPS na manufatura dividido em uma estrutura de cinco níveis, chamada 5C (*Connection, Conversion, Cyber, Cognition, Configuration*). Segundo eles, obter dados acurados e confiáveis das máquinas e seus componentes é o primeiro passo na criação de CPS. O segundo estágio tem como objetivo a conversão dos dados em informações relevantes, por meio de algoritmos específicos. Essas informações são processadas no terceiro nível, que armazena todos os dados obtidos e promove comparações analíticas entre máquinas, considerando também o histórico, a fim de prever seu comportamento futuro. A função do quarto estágio é organizar as informações de forma que a decisão correta possa ser tomada para otimizar o processo. Por fim, o último nível é responsável por passar a resposta do ciberespaço para o espaço físico, ou seja, agir como um sistema de controle resiliente (RCS) e aplicar as medidas corretivas e preventivas decididas no estágio anterior ao sistema monitorado.

Drath (2014) apresenta três fatores que sustentam a implementação dos CPS pelas empresas. O primeiro é que a infraestrutura de comunicação nos sistemas produtivos está cada vez mais acessível e tende, naturalmente, a ser implementada em todos os processos. O segundo é que dispositivos de campo, máquinas, plantas e fábricas (e até mesmo produtos individuais) estão mais conectados à rede (Internet ou rede interna da fábrica). Dessa forma, eles podem ser disponibilizados como objetos de dados na rede e serem pesquisados, explorados e analisados. O último fator é que esses elementos podem ser capazes também de armazenar documentos, modelos 3D, simulações, requisitos e conhecimentos sobre si mesmos na rede. Assim, eles poderão obter uma representação virtual viva na rede, com identificadores individuais. Esses objetos de dados aumentam o dispositivo "real"

grão de areia. Uma etiqueta RFID transmite dados no ar em resposta à interrogação por um leitor RFID. A forma principal do dispositivo RFID de código de barras é conhecida como EPC (Electronic Product Code) tag. Uma organização chamada EPCglobal Inc. supervisiona o desenvolvimento dos padrões para essas tags. Não surpreendentemente, a EPCglobal é uma joint venture da UCC e EAN, os corpos que regulam o uso do código de barras em os Estados Unidos e o resto do mundo, respectivamente.

correspondente e formam uma segunda identidade na rede, onde eles formam uma base de conhecimento para uma variedade de aplicações.

De acordo com Kagermann *et al.* (2013), no futuro, empresas estabelecerão redes globais que integrem maquinário, sistemas de armazenamento e instalações de produção na forma de CPS, que são capazes de trocar informações autonomamente, desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma independente. De acordo com Laird (2017), as novas máquinas "inteligentes" permitem que os processos sejam monitorados por CPS, capazes de tomar decisões descentralizadas com base nas respostas que recebem em tempo real por meio da web. Esses sistemas de produção flexíveis capazes de responder em condições quase instantâneas permitem que os processos internos de produção sejam otimizados de forma radical. Além disso, máquinas inteligentes estão compartilhando informações continuamente acerca de níveis de estoque, problemas, erros e mudanças em demanda e oferta, o que permite que os dispositivos conectados à rede atuem sem a intervenção humana. Por exemplo, robôs trabalhando em uma linha de produção podem fornecer os componentes necessários um ao outro ou parar a linha em caso de erros (GUBÁN *et al.*, 2017).

MacDougall (2014) considera que essa fusão dos mundos virtual e físico por meio de sistemas ciberfísicos estão abrindo o caminho para uma nova era industrial, melhor definida pelo conceito de "fábrica inteligente". Ela é caracterizada por processos de produção inteligentes que são totalmente automatizados e capazes de se auto-monitorar, com integração de dados vertical e horizontal e, que idealmente, permitirão aos processadores otimizar as capacidades, melhorando a eficiência operacional e aumentando a segurança, flexibilidade, qualidade e produtividade (LAIRD, 2017). Além disso, há vantagens significativas de qualidade, tempo, recursos e custos em comparação com os sistemas de produção clássicos e que não se limitam apenas a condições de produção únicas, mas também podem ser otimizadas de acordo com uma rede global de unidades de produção pertencentes a mais de um operador.

IV.2. *Big Data e Analytics*

O Conselho Nacional de Pesquisa americano lançou, em 2013, um relatório chamado *Frontiers in Massive Data Analysis* (JORDAN *et al.*, 2013). Segundo este, avanços rápidos na detecção, a custos menores, significam que engenheiros podem facilmente coletar enormes quantidades de dados sobre sistemas complexos, (como aqueles para redes de comunicação, rede elétrica, sistemas de transporte e financeiros) e usá-los para melhorar o gerenciamento e controle. Além disso, muitas atividades humanas agora ocorrem na Internet, gerando dados que contêm valor comercial e científico substancial. Em particular, muitas empresas comerciais têm como objetivo fornecer serviços personalizados que se adaptem aos comportamentos e preferências individuais, conforme revelado pelos dados associados ao indivíduo (NRC, 2013).

Sistemas tradicionais de computação, que realizam apenas o que foram programados para fazer, simplesmente não podem competir com o *big data*, em constante movimento (IBM, 2013). Uma definição básica de *big data* seria um conjunto de dados tão grande e complexo que supera a capacidade ferramentas de software comumente usadas para capturar, selecionar, gerenciar e processar dados (CHIANG *et al.*, 2017). Beulke (2011) define algumas características que diferenciam o *big data* dos grupos de dados usuais, como um grande volume de dados (gerados por máquinas, por exemplo); uma alta velocidade, devido à frequência das transações analisadas e uma ampla variedade, proveniente de dados estruturados e desestruturados das diversas fontes. Adicionalmente, o *big data* exige etapas de verificação, que abordam a questão da qualidade dos dados e dos níveis de segurança, e de valorização, por meio de análises para extrair valor dos dados existentes.

Uma gama maior e melhor de dados fornece às companhias uma visão ao mesmo tempo panorâmica e granular do seu ambiente de negócios e essa habilidade de ver o que estava previamente invisível gera melhorias nas operações, nas relações com os consumidores e nas estratégias (BARTON *et al.*, 2012). Por outro lado, em um ambiente de *big data*, os conjuntos de dados são muito maiores e podem ser muito complexos para o software analítico de dados convencional. Afinal, *big data* é grande em dois sentidos diferentes: na quantidade e variedade de dados que estão disponíveis para serem processados e na escala de análise (denominada "analytics") que pode ser aplicada a esses dados, a fim de fazer inferências e tirar conclusões (PCAST, 2015). A inferência é o problema de transformar os dados em conhecimento, onde o conhecimento geralmente é

expresso em termos de entidades que não estão presentes nos dados em si, mas em modelos que se utilizam para interpretar os dados (NRC, 2013).

Segundo a PCAST (2014), é a combinação de tecnologias computacionais diferentes em *analytics* que alimenta a revolução do *big data*, uma vez que, sem análise, grandes conjuntos de dados poderiam até ser armazenados e recuperados, mas não se traduziriam em informação alguma. A análise de dados é uma coleção de métodos centrados na descoberta e análise de padrões, estrutura ou correlações em grandes coleções de dados, que podem fornecer visualizações, prever resultados, confirmar hipóteses, identificar causalidade e, de forma mais geral, fornecer informações e orientar decisões (PCAST, 2015).

Embora os avanços na Internet das Coisas tenham simplificado o recolhimento de dados, eles serão inúteis a não ser que processados de forma que gerem contexto e significado para os funcionários certos (LEE *et al.*, 2013). Sendo assim, para organizações e fabricantes com uma abundância de dados operacionais e de chão de fábrica, as técnicas avançadas de análise são fundamentais para descobrir padrões ocultos, correlações desconhecidas, tendências do mercado, preferências do cliente e outras informações comerciais úteis (ZHONG *et al.*, 2017).

De acordo com a PCAST (2015), as fábricas devem ser capazes de gerenciar a necessidade de aumento exponencial na produção de dados, bem como possuir as técnicas analíticas necessárias para extrair o significado desses grandes conjuntos de dados. Mais especificamente, as organizações devem poder trabalhar com *big data* para atender às demandas da Manufatura do Futuro (O'DONOVAN *et al.*, 2015). Os procedimentos estatísticos para análises preditivas são essenciais também para o processo de *machine learning* (aprendizado de máquinas). O uso bem-sucedido do *machine learning* é sensível à quantidade de dados e à computação, podendo ser necessárias grandes quantidades de dados e sistemas de computação de alta capacidade para soluções eficazes. A qualidade de uma análise também se baseia na arte do design do método de aprendizagem da máquina que é usado, especialmente a seleção dos procedimentos de aprendizagem e os parâmetros que são usados nas previsões (PCAST, 2015).

Há ainda diversas outras formas pelas quais o uso de *big data* pode criar valor, conforme indicam Manyika *et al.* (2012). À medida que as organizações criam e armazenam mais dados transacionais em formato digital, podem coletar informações de

desempenho mais precisas e detalhadas. Além disso, o uso de *big data* permite uma segmentação cada vez mais estreita dos clientes possibilitando, portanto, o desenvolvimento de produtos ou serviços muito mais precisamente personalizados.

Dentre as etapas da cadeia de valor, destaca-se seu uso em P&D, logística, produção, marketing e pós-venda. Por exemplo, implementar a previsão da demanda ou melhorar a transparência na cadeia de suprimentos por meio do *big data* tem o potencial de afetar quase todas as etapas do processo produtivo. Além disso, os fabricantes estão usando dados obtidos a partir de sensores incorporados em produtos para criar ofertas inovadoras de serviços pós-venda, como a manutenção pró-ativa ou para reduzir o tempo e os custos de P&D, tornando possíveis ciclos de inovação mais rápidos. A figura IV.1 expõe algumas das principais aplicações do big data na cadeia produtiva.

	P&D e Design	Gerenciamento da cadeia de suprimentos	Produção	Marketing e Vendas	Serviços Pós-Venda
Construir bancos de dados interoperacionais e multifuncionais de P&D e design de produto para permitir engenharia simultânea, experimentação rápida, simulação e co-criação	✓		✓		
Agregar e compartilhar dados de clientes para melhorar o serviço, aumentar as vendas e habilitar o desenho a valor	✓	✓		✓	
Fornecer e compartilhar dados por meio de sites de colaboração virtual (mercados de ideias para habilitar o crowdsourcing)	✓		✓	✓	
Implementar previsão avançada de demanda e planejamento de fornecimento em fornecedores e usar variáveis externas		✓	✓	✓	✓
Implementar manufatura enxuta; modelar e otimizar a produção; desenvolver dashboards			✓		
Implementar análise orientada por dados do sensor para melhorar o rendimento e permitir a personalização em massa			✓		
Coletar dados de pós-venda em tempo real de sensores e comentários de clientes para acionar serviços e detectar falhas		✓	✓	✓	✓
Melhorar a visibilidade da cadeia de suprimentos através de torres de controle e colaboração em toda a organização		✓	✓	✓	✓

Figura IV.1: Impactos do uso de big data em toda a cadeia de valor na manufatura.

Fonte: Manyika *et al.*, 2012.

Atualmente, poucas áreas estão experimentando mais inovação e investimento do que o *big data* e suas análises. Segundo Court (2015), novas ferramentas e abordagens melhoradas em todo o sistema de análise de dados estão oferecendo maneiras de ampliar os ganhos para as empresas. Sem precisar conhecer uma única linha de codificação, os usuários podem vincular dados de múltiplas fontes (incluindo externas) e aplicar análises preditivas. As ferramentas de visualização estão colocando os usuários empresariais no controle das

análises, definindo a exploração de dados necessários para resolver os problemas comerciais e apoiar a tomada de decisões.

IV.3. Computação em nuvem

A computação em nuvem está emergindo como um dos principais capacitadores da indústria, podendo transformar o modelo de negócios de fabricação tradicional, ajudando a alinhar a inovação de produtos com a estratégia de negócios e a criar redes de fábricas inteligentes que incentivem a colaboração efetiva (XU, 2012). Segundo Roblek *et al.* (2016) a importância da computação em nuvem e da computação móvel para a Indústria 4.0 reside na prestação de serviços, que podem ser acessados globalmente pela Internet. O National Institute of Standards and Technology (NIST, 2011) explica que a computação em nuvem é um modelo para possibilitar um acesso conveniente e sob demanda a um pool compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços.

De acordo com Moreno-Vozmediano *et al.* (2013) a computação na nuvem pode ter um papel importante na habilitação dos serviços digitais, uma vez que ela compreende diferentes modelos de provisão de acesso sob demanda de aplicações (software como serviço, ou SaaS), plataformas nas quais os desenvolvedores podem criar serviços e aplicações (plataforma como um serviço, ou PaaS) ou infra-estruturas elásticas de computação (infra-estrutura como um serviço, ou IaaS). A figura IV.2 esquematiza esses serviços. Companhias como Google App Engine (GAE), Microsoft Azure e Amazon Web Services (AWS) fornecem soluções PaaS que criam um ambiente para os desenvolvedores acessarem os recursos “nuvem” a partir de uma perspectiva de alto nível, sem lidar com os detalhes da infraestrutura (CABALLER *et al.*, 2014). Eles também fornecem suporte para infra-estrutura de suas nuvens comerciais e serviços que permitem o desenvolvimento de aplicativos em várias linguagens computacionais.

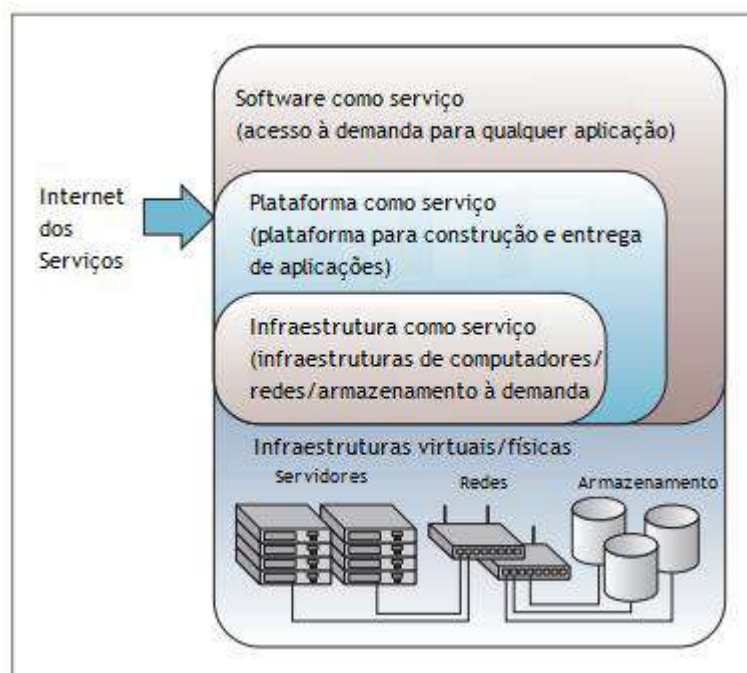


Figura IV.2: Modelo cloud computing para o futuro da internet dos serviços (IoS).

Fonte: Adaptado de Moreno-Vozmediano *et al.*, 2013.

As empresas são atraídas por serviços baseados em nuvem a medida que os provedores comercializam seus serviços como sendo superiores aos centros de dados internos em termos de dimensões financeiras e técnicas, ou seja, mais rentáveis, igualmente ou ainda mais confiáveis e altamente escalonáveis (KHAJEH-HOSSEINI *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2010) ressaltam ainda que não é necessário investimento inicial, pois o provedor de serviços não precisa investir na infra-estrutura para começar a obter benefícios da nuvem, basta alugar recursos de acordo com suas próprias necessidades e pagar pelo seu uso. Na realidade, o sistema gera uma redução do custo operacional, pois os recursos em um ambiente em nuvem podem ser rapidamente alocados e desalocados sob demanda. Isso oferece grandes economias uma vez que os recursos podem ser liberados para economizar em custo de operação quando a demanda do serviço é baixa.

Por outro lado, há ainda alguns desafios que impedem a maior disseminação e adoção da computação em nuvem pelas empresas. Em particular, questões relacionadas a como proteger e assegurar as informações (segurança cibernética) e a como processar os dados dos usuários (*analytics*) representam receios na contratação de um serviço de computação em nuvem (PRITESH *et al.*, 2011). Além disso, a portabilidade de serviços entre diferentes fornecedores é complicada devido à falta de interfaces padrão para interagir

com diferentes nuvens e gerenciar aplicações virtuais (MORENO-VOZMEDIANO *et al.*, 2013). Essa dificuldade técnica, entretanto, não impediu que a combinação e uso serial ou simultâneo de nuvens de diferentes provedores venha se tornando práticas mais comuns.

Segundo Grozev et Buyya (2014) o modelo normal de computação em nuvem, onde um cliente utiliza um único centro de dados da nuvem, apresenta deficiências. A indisponibilidade do serviço da nuvem pode deixar milhares de clientes que dependem exclusivamente dela sem acesso a recursos essenciais e pagos. Eles ressaltam também que confiar a uma única nuvem o centro de dados dificulta a implementação de uma capacidade de resposta e usabilidade adequadas aos clientes distribuídos pelo mundo todo. Nesse sentido, conectar e combinar nuvens para formar *Inter-Clouds* irá melhorar ainda mais a visão de recursos ilimitados, podendo beneficiar tanto os provedores (com ganhos de escala, custo e eficiência energética) quanto os clientes (evitando bloqueios de fornecedor e ganhando maior distribuição global) (CABALLER *et al.*, 2014). A figura IV.3 ilustra como as nuvens podem se combinar e interagir para alcançar melhores resultados.

Petcu (2014) define alguns dos tipos de combinação de nuvens mais usados atualmente, como *hybrid clouds*, *cloud federations* e *multi-clouds*. As *hybrid clouds* são criadas quando os recursos exigidos por uma nuvem privada excedem sua capacidade e é necessário envolver algumas nuvens públicas, o que se chama “explosão da nuvem” e costuma acontecer durante picos de demanda. As *cloud federations* referem-se à colaboração voluntária de fornecedores de Cloud para benefícios mútuos, com a ajuda de um corretor que pode ser uma entidade central ou que aparece para cada provedor. Já as *multi-clouds* são semelhantes à nuvem híbrida com a diferença de que aqui o cliente, conscientemente e voluntariamente, faz uso de nuvens desconectadas.

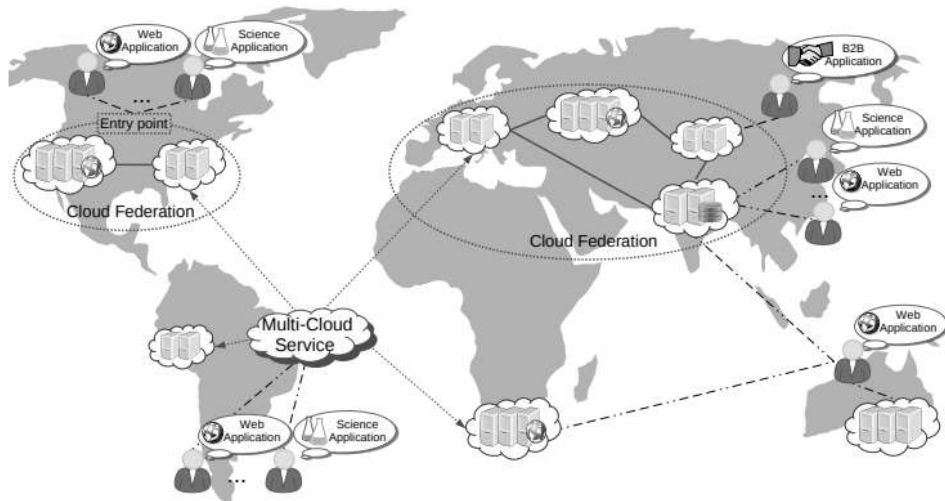


Figura IV.3: Uma visão geral de abordagens e usos das Inter-Clouds.

Fonte: Grozev et Buyya, 2014.

A terceirização do serviço para a nuvem serve para reduzir riscos de negócios e despesas de manutenção. O fornecedor muda seus riscos comerciais (como falhas de hardware) para fornecedores de infra-estrutura, que muitas vezes possuem melhores conhecimentos e estão melhor equipados para gerenciar esses riscos. Este desenvolvimento permite uma nova forma de variação dinâmica da distribuição das atividades individuais da cadeia de valor (SCHEER, 2013). Além disso, usar um provedor de serviços pode reduzir a manutenção do hardware e os custos de treinamento da equipe. Por fim, a computação em nuvem possui também fácil acesso, pois os serviços hospedados na nuvem geralmente são baseados na web e, portanto, são facilmente acessíveis por meio de uma variedade de dispositivos com conexões de internet.

IV.4. Internet das Coisas

Segundo Kagermann *et al.* (2013), a integração da Internet das Coisas (IoT) nos processos de manufatura iniciou a quarta revolução industrial. A Internet das Coisas possibilita que coisas e objetos, como os RFID, sensores, atuadores, telefones celulares, por meio de um sistema de endereçamento único, interajam uns com os outros e cooperem com os componentes inteligentes vizinhos para alcançar objetivos comuns (GIUSTO *et al.*, 2010). Para fins industriais, as coisas e objetos da citação precedente correspondem, essencialmente, aos sistemas ciberfísicos. Entretanto, o conceito de Internet das Coisas é bem amplo e atinge além do âmbito industrial. No relatório “Internet das Coisas 2020”

(BASSI e HORN, 2008), formulado pelas organizações europeias “*Information Society and Media*” *Directorate General* (INFSO) e *European Technology Platform on Smart Systems Integration* (EpoSS), a definição semântica é dada por uma rede mundial de objetos interconectados e unicamente endereçáveis, baseada em protocolos padrão de comunicação. Em outras palavras, coisas que possuem identidades e personalidades virtuais operando em espaços inteligentes usando interfaces para se conectar e se comunicar em contextos sociais, ambientais e entre usuários.

Entre as aplicações já realizadas da IoT, Zhong *et al.* (2017) mostram que a tecnologia tem sido usada em diferentes campos como em cidades inteligentes, manufaturas ou setores de saúde. Roblek *et al.* (2016) destacam o papel da IoT no controle da mobilidade nas cidades inteligentes, via monitoramento de disponibilidade de estacionamento ou controle de tráfego, por exemplo. Na área de saúde, sensores integrados na casa ou em aplicativos de *smartphone* podem monitorar pacientes e enviar informações aos seus médicos (PANG *et al.*, 2015). Tudo isso implica que um grande número de áreas tradicionais serão afetadas pela tecnologia IoT, pois está sendo incorporada em todos os aspectos da vida cotidiana (ZHONG *et al.*, 2017). Portanto, a tecnologia IoT permite a criação de produtos, serviços e modelos de negócios completamente novos que prometem ganhos em praticamente todos os setores (ROBLEK *et al.*, 2016).

Para aplicar a Internet das Coisas à Manufatura do Futuro, algumas tecnologias são importantes, como os identificadores de radiofrequência (RFIDs) e as redes de sensores sem fio (BI *et al.*, 2014). As etiquetas RFID e os leitores são implantados em locais de fabricação típicos, como pisos de lojas, linhas de montagem e armazéns, onde objetos inteligentes são criados ao equipá-los o com dispositivos RFID. Isso permite que os distúrbios do chão de fábrica sejam detectados e retroalimentados ao sistema de fabricação em tempo real (HUANG *et al.*, 2008), melhorando assim a eficácia e a eficiência da tomada de decisões de produção. Os sistemas de fabricação inteligentes dependem de uma rede inteligente onde o contexto físico está intimamente interligado com um gêmeo cibernético correspondente por meio da IoT e das infra-estruturas de computação em nuvem (LONGO *et al.*, 2017). O contexto do ciber gêmeo deve ser dotado de inteligência que permita capacidades tais como a autoconsciência, a autocomparação, a autogestão e a auto-adaptação a nível operacional. Dessa forma, os contextos físico e cibernético devem ser perfeitamente integrados de modo a atuar sinergicamente.

A Internet das Coisas é atualmente concebida como uma maior convergência de tecnologias de ponta, como padrões de rede sem fio universais, análise de dados e aprendizado de máquinas (XU *et al.*, 2014). A figura IV.4 apresenta um quadro de convergência de tecnologias como *data (big data e analytics)*, *cloud computing*, sensores e atuadores modernos e comunicação máquina-máquina (*machine to machine*), habilitando sistemas de aprendizado de máquinas e controle remoto que, por fim, dão origem a máquinas e sistemas autônomos (OECD, 2015).

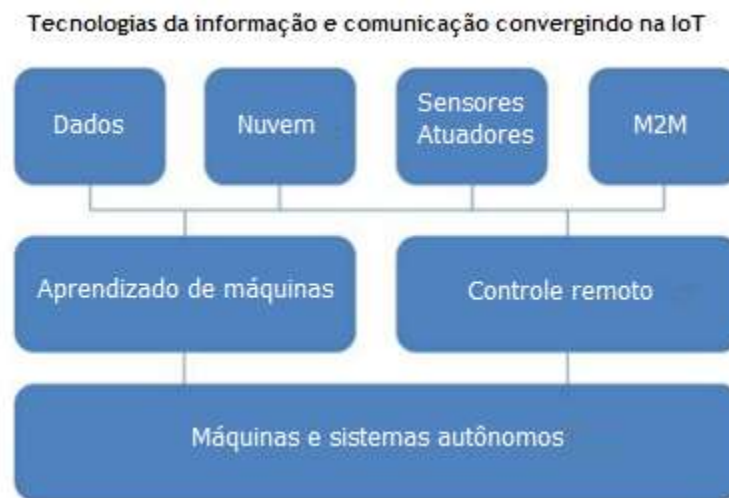


Figura IV.4: Tecnologias da Informação e Comunicação convergindo na Internet das Coisas

Fonte: *The digital economy outlook*, OECD (2015).

Em uma entrevista à publicação *Environmental Engineering DAQ & Sensors*, um membro do comitê da companhia alemã Bosch forneceu alguns exemplos de aplicações visadas pela empresa (NEWELL, 2016): os projetos incluem sensores conectados para monitoramento de caixas em trânsito, carga de torque em chaves de fenda nas linhas de manufatura e o uso generalizado de tecnologias RFID ligados a uma rede digital para fazer melhorias significativas no gerenciamento do armazém e no controle do inventário. Ele também destaca um avanço já realizado, com a implementação da etiquetagem RFID na gestão de ativos na instalação de Suzhou, na China, onde a companhia reduziu em 97% o tempo necessário para auditar os ativos. Atualmente, o sistema RFID está sendo ligado a sensores conectados na rede da empresa, de forma que a auditoria pode ser realizada a qualquer momento, apenas apertando um botão.

No entanto, ainda há desafios sérios para a maior disseminação dessa tecnologia, incluindo governança, padronização e interoperabilidade, além de protocolos de comunicação eficientes e seguros. Segundo relatório da Comissão Europeia (2016), é preciso acelerar o desenvolvimento de padrões comuns e soluções interoperáveis. A interoperabilidade é essencial para a implantação da IoT e para promover o fluxo contínuo de dados entre regiões. A disponibilidade de padrões e especificações comuns é também um requisito importante, pois deve ser possível que diferentes dispositivos e estruturas possam interagir entre si, independente de seus fornecedores. Além disso, o desenvolvimento de padrões reduz os riscos para as empresas que desenvolvem soluções e para as que as implementam, agilizando a adoção de novos produtos manufaturados e métodos de fabricação (PCAST, 2014).

IV.5. Manufatura Aditiva

Segundo o relatório da *McKinsey Global Institute* (Manyika *et al.*, 2012), a manufatura aditiva (MA) engloba uma variedade de tecnologias, incluindo a impressão 3D, que permitem a construção de objetos sólidos a partir de pequenas partículas. Esse modo de produção contrasta com a fabricação de subtração - o modelo atual - que usa todo o material e remove o excesso desnecessário para finalizar o produto (OECD, 2015). O artigo *The 3D opportunity primer: the basics of additive manufacturing* (MARCHESE *et al.*, 2013) fornece uma evolução cronológica da manufatura aditiva, conforme mostra a figura IV.5. De acordo com o artigo, a história da MA remonta há mais de 30 anos, a 1983 e a invenção da estereolitografia. Desde então, a tecnologia evoluiu para incluir pelo menos 13 sub-tecnologias diferentes agrupadas em sete tipos de processos distintos, e continua a melhorar na velocidade de processamento, complexidade do design e na variedade de materiais utilizados. Tecnologias-chave como a sinterização a laser seletiva, a modelagem de deposição fundida e a estereolitografia são usadas em uma gama de produtos, materiais e tamanhos para produção de peças e modelos altamente complexos (MANYIKA *et al.*, 2012). Um artigo publicado pela *University of Texas at Austin* (LINDSTORM, 2012) ajuda a esclarecer as diferenças entre elas:

Impressão em 3D (3DP): é uma tecnologia baseada em pó e cola patenteada em 1993 por pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e vendida em 1995 à Z Corp., que foi adquirida pela 3D Systems em 2012. O 3DP usa um método de cama em pó como o SLS, mas em vez de sinterizar ou derreter o pó, uma pasta (cola) é injetada no pó

usando uma cabeça de impressão tipo jato de tinta. A mistura de emulsão em pó não consegue as mesmas propriedades do material encontradas em objetos formados a partir de um único material, colocando esta tecnologia no extremo inferior do espectro de fabricação aditiva. Por outro lado, essa tecnologia é a mais econômica, sendo ideal para usuários que procuram uma solução de impressão 3D para projetos que não requerem alta precisão e durabilidade. Embora a "impressão 3D" originalmente se referisse especificamente a esta tecnologia, o termo agora também é usado como sinônimo de Manufatura Aditiva.

Sinterização seletiva a laser (SLS): é uma tecnologia baseada no uso de pó, inventada em 1986 por Carl Deckard. Consiste em usar um feixe de energia direcionada para sinterizar ou derreter material em pó e é o método mais utilizado para a fabricação de peças e ferramentas reais, pois oferece a mais ampla seleção de materiais. Duas tecnologias mais recentes, a fusão seletiva por laser (SLM) e a fusão por feixe de elétrons (EBM) são ambas extensões da SLS. A SLM compreende essencialmente o mesmo processo que o da SLS, mas refere-se ao uso de pó de metal em vez de polímeros. As máquinas SLM são especializadas para uso com metais e produzem peças acabadas e totalmente densas em um passo, ao contrário das peças metálicas fabricadas com máquinas SLS que devem ser infiltradas. O atual líder do mercado em tecnologia SLM é a empresa alemã EOS. O EBM é semelhante à SLM, pois usa pó metálico para produzir peças metálicas totalmente homogêneas, porém o EBM usa um feixe de elétrons ao invés do laser e constrói peças no vácuo. Isso permite o uso de metais altamente reativos ao oxigênio (geralmente titânio, material aeroespacial comum). O EBM foi inventado pela empresa sueca Arcam.

Estereolitografia (SLA): é uma tecnologia baseada em fotopolímeros líquidos desenvolvida por Charles Hull, co-fundador da companhia 3D Systems, em 1984. A SLA usa fotopolímeros, que são polímeros líquidos que se endurecem quando expostos a determinadas frequências de luz. Construídas em camadas sucessivas, como na SLS, as peças SLA são duráveis, mas não tão fortes como as peças SLS. Devido à natureza da tecnologia, a estereolitografia é limitada a um conjunto relativamente pequeno de materiais poliméricos e compósitos disponíveis para uso. A companhia 3D Systems adquiriu as tecnologias de impressão SLS e 3D, além de SLA, tornando-se a detentora da maior parcela do mercado de manufatura aditiva do mundo.

Modelagem de deposição fundida (FDM): é uma tecnologia baseada em extrusão desenvolvida por Scott Crump of Stratasys em 1988. O FDM usa um filamento espesso de

polímero que é forçado através de um bico aquecido, que derrete o polímero como uma pistola de cola quente. A peça é feita movendo-se a mesa ou o bico para depositar o material seletivamente em uma forma fundida, construindo uma camada de cada vez. Como SLA, o FDM requer estruturas de suporte para peças com saliências. A modelagem de deposição fundida é usada principalmente para fazer protótipos precisos e duráveis.

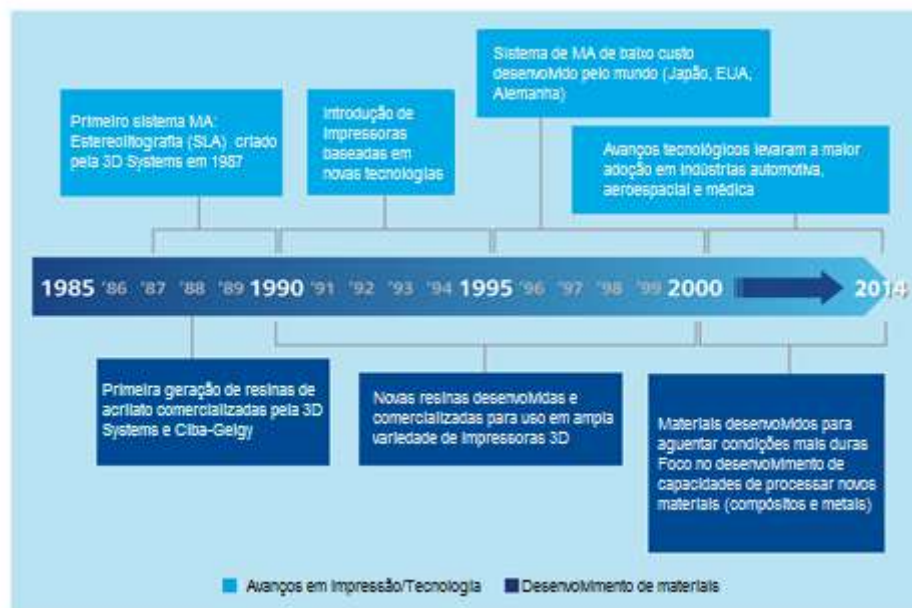


Figura IV.5: Evolução histórica da Manufatura Aditiva.

Fonte: Marchese *et al.*, 2013.

Independentemente da tecnologia de produção escolhida, o processo da Manufatura Aditiva tradicionalmente começa com a criação de um modelo tridimensional por meio do uso de um software de design assistido por computador (CAD) (MARCHESE *et al.*, 2013). Esse modelo 3D baseado em CAD normalmente é salvo como um arquivo padrão de linguagem de tecelagem (.STL), que é uma representação triangulada do modelo. O software então corta o arquivo de dados em camadas individuais, que são enviadas como instruções para o dispositivo de MA. O dispositivo AM cria o objeto adicionando camadas de material, uma sobre a outra, até o objeto físico ser formado. Uma vez que o objeto é criado, uma variedade de atividades de acabamento pode ser necessária. Dependendo do material utilizado e da complexidade do produto, algumas peças podem precisar de processamento secundário, como lixar, arquivar, polir, curar, preencher material ou pintar.

Ainda segundo Marchese *et al.* (2013) ferramentas de digitalização e imagem 3D sofisticadas estão surgindo como alternativas para programas tradicionais de CAD. Além disso, tecnologias de design que permitem aos consumidores modificar os próprios modelos digitais - sem a necessidade de uma experiência extensa em CAD - deverão gerar crescimento no espaço dos sistemas AM pessoais. Novos formatos, como o formato de arquivo de fabricação aditivo (AMF), também estão sendo desenvolvidos para abordar as limitações do modelo existente e permitir estruturas de arquivos mais flexíveis. Entretanto, apesar desses avanços, uma pesquisa feita pelo MGI (MANYIKA *et al.*, 2012) revela que menos de 30% dos componentes produzidos por manufatura aditiva são usados como partes ou no ajuste e montagem, sendo a maioria deles ainda usada como modelos funcionais, protótipos ou modelos de apresentação. As aplicações mais comuns são nas indústrias aeroespacial, automotiva e de plásticos.

Os principais benefícios do uso da manufatura aditiva contra a manufatura tradicional estão ligados à eficiência e redução de custos ao longo do ciclo de vida do produto e da cadeia de suprimentos, bem como maior flexibilidade no design e personalização do produto (MARCHESE *et al.*, 2013). Manyika *et al.* (2012) também ressaltam as vantagens possíveis com o uso dessas tecnologias: aumento de flexibilidade por diminuição do tempo de desenvolvimento e prototipagem, redução do desperdício de materiais, eliminação do custo de ferramentas, possibilidade de construção de estruturas e formas complexas e simplificação das linhas de produção.

A OECD (2015) se mostrou entusiasmada com o uso da impressão 3D, afirmando que ela teria o potencial de provocar uma revolução da produção, pois permitirá o transporte digital, armazenamento, criação e replicação de produtos (com empresas que vendem projetos em vez de produtos físicos, por exemplo). Economias no uso de recursos, redução de resíduos de materiais, menores fluxos de transporte de produtos físicos, menores estoques e mais produtos personalizados e exclusivos são apresentadas pela organização como as principais vantagens da manufatura aditiva. Por outro lado, a OECD reconhece, no mesmo relatório, que a tecnologia 3D ainda enfrenta vários obstáculos, relacionados ao número limitado de materiais passíveis de serem utilizados, à falta de padrões e às questões relacionadas aos direitos de propriedade intelectual. Isso dificulta a previsão da rapidez com a qual esta tecnologia será amplamente implantada e se tornará viável para a produção de diferentes tipos de produtos em maior escala.

IV.6. Inteligência Artificial e Robótica

A inteligência artificial certamente não é mais considerada ficção científica - ou uma fonte de esforços de P&D caros com potencial insatisfeito - por parte dos principais atores do setor de tecnologia, que é composto por empresas que projetam, desenvolvem ou fabricam componentes, produtos ou soluções eletrônicas e que estão ainda classificados em vários subsetores, incluindo hardware, serviços de TI, redes, Internet, semicondutor e software (PEREIRA *et al.*, 2015). De acordo com Hammond (2015), as principais tecnologias da inteligência artificial (IA) não mudaram drasticamente e os motores de hoje são, na maioria dos casos, semelhantes aos anos anteriores. As técnicas do passado foram insuficientes, não devido ao design inadequado, mas porque a base e o ambiente necessários ainda não haviam sido construídos.

Em suma, a maior diferença entre a IA de então e a de agora é que a capacidade computacional necessária, os volumes brutos de dados e a velocidade de processamento estão prontamente disponíveis para que a tecnologia possa realmente atingir seu potencial. Segundo Guszczka e Maddirala (2016), a transmissão contínua de dados por sensores IoT, a computação em nuvem e avanços em técnicas de aprendizado de máquina estão dando origem a um renascimento na inteligência artificial que provavelmente remodelará o relacionamento das pessoas com os computadores.

Impulsionada por desenvolvimentos em análise de dados e computação em nuvem (ou seja, um modelo de serviços de computação com base em um conjunto de recursos de computação que podem ser acessados de forma flexível, elástica e à demanda com baixo esforço de gerenciamento), os algoritmos de aprendizagem de máquina resultaram em novos níveis de inteligência artificial (OECD, 2015). O uso de dados e análises permite uma ampla gama de aplicativos inteligentes que usam algoritmos de aprendizado de máquina para aprender de situações anteriores e que podem comunicar os resultados dessa aprendizagem a outras máquinas. Isso pode significar uma mudança de paradigma do mundo real: os estágios finais de uma transição de décadas da disciplina científica conhecida como inteligência artificial (e suas várias subdisciplinas) em uma série de tecnologias cognitivas aplicadas feitas mais amplamente disponíveis através de arquiteturas empresariais inovadoras, exclusivas para a cultura empresarial do setor de tecnologia (PEREIRA *et al.*, 2015).

Guszcza e Maddirala (2016) afirmam que, embora os modelos preditivos e outras aplicações da AI possam automatizar certas tarefas de rotina, é altamente improvável que o julgamento humano seja terceirizado para algoritmos em breve. Para eles, uma visão mais realista é usar a ciência dos dados e a ciência psicológica para melhorar os julgamentos humanos, tornando-os mais imparciais. Quando os dados são abundantes e os aspectos relevantes do mundo não estão mudando rapidamente, é apropriado se apoiar em métodos estatísticos. Em oposição, quando pouco ou nenhum dado está disponível, a inteligência coletiva e outros métodos psicológicos podem ser utilizados para aproveitar ao máximo o julgamento dos especialistas.

Nessa perspectiva, os operadores são um elo crucial para a integração ideal entre recursos reais e virtuais. Os fatores humanos, de fato, devem se beneficiar da inteligência gerada no contexto cibernético e, por sua vez, adicionar mais inteligência: um nível de meta inteligência (LONGO *et al.*, 2017). Como consequência, os fatores humanos estão no cerne de uma cadeia fechada virtuosa com um sistema de feedback valioso que faz com que o sistema de fabricação geral cresça e evolua ao longo do tempo. Assim, maiores níveis de eficácia e eficiência podem ser alcançados graças à integração ótima de métricas quantitativas e fatores qualitativos assegurados pela cooperação sinérgica da inteligência humana e artificial.

Pereira *et al.* (2015) afirmam que muitas capacidades que apenas estavam surgindo há alguns anos, já estão essencialmente maduras, "democratizadas" e mais prontamente disponíveis para aplicação nos negócios. Como resultado, empresas líderes estão usando tecnologias cognitivas para aprimorar seus produtos e serviços existentes, bem como para abrir novos mercados. Eles descrevem oito aplicações viáveis e vantajosas da inteligência artificial, ilustradas na figura IV.6: visão computacional, aprendizagem de máquinas, planejamento e agendamento, processamento de linguagem natural e reconhecimento de fala, otimização, sistemas baseados em regras e robótica. A visão computacional é a capacidade dos computadores para identificar objetos, cenas e atividades em ambientes visuais sem restrições. O processamento de linguagem natural e o reconhecimento de fala estão ligados a compreensão de significados e a habilidade de transcrição e formulação de textos coerentes e gramaticalmente corretos. Planejamento e agendamento se referem à criação automática uma seqüência de ações para atingir metas e observar restrições.

A aprendizagem de máquinas é a capacidade dos sistemas informáticos de melhorar seu desempenho por meio de dados, sem a necessidade de seguir instruções explicitamente programadas. Isso foi possibilitado pelos avanços em *big data* e *analytics* e a IoT e seu uso conjunto, como mencionado anteriormente. A otimização é a capacidade de automatizar decisões complexas e trade-offs sobre recursos limitados. Os sistemas baseados em regras consistem em usar bancos de dados de conhecimento e regras para automatizar o processo de inferir sobre informações, característica também relacionada a *big data* e *analytics*. Por fim, o campo da robótica também está abordando tecnologias cognitivas para criar robôs que possam trabalhar ao lado, interagir, ajudar ou entreter pessoas. Tais robôs podem executar muitas tarefas diferentes em ambientes imprevisíveis, integrando tecnologias cognitivas, como visão computacional e planejamento automatizado com sensores, atuadores e hardware minúsculos, de altíssimo desempenho.



Figura IV.6: Tecnologias cognitivas amplamente usadas na Manufatura do Futuro.

Fonte: Pereira *et al.*, 2015.

Sendo assim, aumentar a inteligência artificial não só resultará em aplicações inteligentes (por exemplo, análise de dados em finanças, saúde, etc.), como também dará origem a máquinas e sistemas autônomos. Os robôs tradicionalmente foram usados nas indústrias onde a velocidade, precisão, destreza e capacidade de trabalhar em condições perigosas são valorizadas (OECD, 2015). Entretanto, esses robôs tradicionais, como os usados na fabricação de automóveis por mais de 30 anos, realizam apenas uma tarefa repetidamente. Uma nova geração de robôs inteligentes é capaz de realizar uma gama mais

ampla de tarefas mais sofisticadas, pode colaborar e até mesmo aprender com colegas de trabalho humanos (SCHATSKY e MAHIDHAR, 2014).

Ademais, a instalação de uma planta robótica levaria meses, senão anos, para planejar com precisão milimétrica todos os movimentos dos robôs (OECD, 2015). Espera-se que a IoT torne os robôs flexíveis, auto-capacitáveis e inteligentes à medida que as máquinas combinam cada vez mais *big data*, computação em nuvem, comunicação M2M e sensores e atuadores. Um exemplo atual desse desenvolvimento é a fábrica de barbear da Philips em Drachten (Holanda) que é quase totalmente robótica, empregando apenas um décimo da força de trabalho empregada em sua fábrica na China que faz as mesmas máquinas de barbear (OECD, 2015). Outras empresas como a Foxconn, de fabricação de contratos eletrônicos multinacionais com sede em Taipei Chinês - mais conhecida pela montagem de produtos de Apple, está buscando implementar mais de 1 milhão de robôs em seus negócios nos próximos anos.

Avanços em técnicas de aprendizado de máquinas, melhorias em sensores e poder de computação cada vez maior ajudaram a criar uma nova geração de robôs de hardware e software com aplicações práticas em quase todos os setores da indústria. Este progresso, por sua vez, despertou o interesse de investidores de risco, empresas de tecnologia e um número crescente de clientes que estão implementando automação inteligente em sistemas físicos e de informação (SCHATSKY e MAHIDHAR, 2014). De acordo com o relatório da McKinsey Global Institute (MANYIKA *et al.*, 2012), os robôs são usados cada vez mais em todas as indústrias de manufatura para reduzir a variabilidade, aumentar a velocidade nos processos repetitivos, superar as restrições ergonômicas e melhorar a utilização e a produtividade da planta.

Esta adoção é impulsionada em grande parte pela queda de custos, visto que os preços médios do robô diminuíram de 40 a 50 por cento em relação à compensação trabalhista desde 1990 em muitas economias avançadas. Outro fator é a crescente variedade e complexidade das tarefas que os robôs podem realizar com a integração de tecnologias como aprendizagem de máquinas e processamento de linguagem natural. Robôs avançados com sentidos aprimorados, destreza e inteligência podem ser mais práticos do que o trabalho humano na fabricação, bem como em um número crescente de trabalhos de serviço, como limpeza e manutenção (WEF, 2016).

Além disso, a OECD (2015) aponta que os fabricantes estão instalando robôs para atender às demandas de maior qualidade de clientes e reguladores e para equiparar concorrentes. A robótica também pode ajudar os fabricantes a se adaptarem às mudanças no mercado de trabalho global, como o envelhecimento das populações e o aumento dos custos trabalhistas nas economias em desenvolvimento. Nas indústrias que adotam mais modularização e padronização de processos, os robôs podem se tornar prevalentes mesmo em regiões com menor custo de mão-de-obra, como a China. O relatório *Key Insights from IDC Worldwide Robotics Survey* (ZHANG *et al.*, 2017) indica que a robótica é uma área prioritária de investimento tecnológico para empresas dos países analisados, que incluem China, Japão, EUA, Alemanha, França, Itália, Tailândia e Taiwan. Ou seja, os avanços em inteligência artificial, robótica e automação, apoiados por investimentos substanciais de capital, alimentam uma nova era de automação inteligente, que provavelmente se tornará um importante motor de desempenho organizacional nos próximos anos. Segundo Schatsky e Mahidhar (2014), é importante que as empresas de todos os setores compreendam e adotem a automação inteligente, ou correm o risco de ficar para trás.

V. Iniciativas de empresas químicas na Manufatura do Futuro

Conforme mencionado anteriormente, neste capítulo são analisadas algumas das iniciativas em manufatura avançada já realizadas pelas empresas químicas globais. A metodologia definida para definição do grupo de companhias selecionadas, compilação dos dados e elaboração da análise está apresentada na primeira subseção do capítulo. Em seguida, são analisadas as informações obtidas e faz-se uma comparação dos resultados encontrados com dados provenientes de publicações relevantes a fim de discutir sobre o estado da Manufatura do Futuro na indústria química.

V.1. Metodologia do trabalho

Para iniciar a presente análise, primeiramente foi preciso definir as empresas químicas a serem estudadas. Tendo em vista o nível de investimento necessário para implementar projetos ligados às tecnologias digitais habilitadoras já discutidas, percebeu-se que as empresas capazes de tais iniciativas estariam entre as maiores companhias do mundo. Sendo assim, o *ranking* anual das 50 empresas químicas com melhor performance da *Chemical & Engineering News* (TULLO, 2017) foi usado como base para a seleção. Essa listagem ordena as empresas pelo seu faturamento apenas nas vendas de produtos químicos e não pelo seu rendimento total. A empresa que obteve o maior faturamento em químicos no ano de 2016 foi a alemã BASF, com aproximadamente 60.7 bilhões de dólares. A americana Dow Chemicals aparece como segundo maior rendimento, porém a lista foi feita antes da fusão da empresa com a DuPont (décimo lugar na lista).

Ademais, foi estabelecido um critério de seleção de empresas que tivessem pelo menos metade de suas vendas associadas a produtos químicos, a fim de garantir que os resultados encontrados pudessem ser diretamente relacionados à produção de químicos. Sendo assim, as empresas petroquímicas que estavam na lista não foram consideradas, pois não possuem necessariamente o mesmo foco das empresas químicas. A tabela V.1 lista as 20 primeiras empresas da lista, que foram selecionadas para a realização da análise do estado da Manufatura do Futuro na indústria química.

Tabela V.1: Lista das primeiras 20 empresas em vendas de produtos químicos em 2016.

Posição	Empresa	Vendas de químicos (USD milhões)	Porcentagem de venda de químicos sobre total (%)	Sede
1	BASF	60,653	95,2	Alemanha
2	DOW Chemicals	48,158	100,0	Estados Unidos
3	Sabic	30,985	87,5	Arábia Saudita
4	Formosa Plastics	27,141	66,2	Taiwan
5	LyondellBasell	24,624	84,4	Holanda
6	Ineos	23,530	100,0	Suíça
7	Mitsubishi Chemicals	23,358	75,2	Japão
8	DuPont	19,679	80,0	Estados Unidos
9	Air Liquide	19,554	97,4	França
10	LG Chem	18,111	100,0	Coréia do Sul
11	Toray Industries	16,533	85,4	Japão
12	Linde	16,488	84,9	Alemanha
13	AkzoNobel	15,719	100,0	Holanda
14	PPG	14,270	96,7	Estados Unidos
15	Evonik	14,097	100,0	Alemanha
16	Braskem	13,692	100,0	Brasil
17	Sumitomo	13,396	74,5	Japão
18	Covestro	13,180	100,0	Alemanha
19	Solvay	12,625	100,0	Bélgica
20	Yara	11,577	100,0	Noruega

Fonte: Adaptado de Tullo, 2017.

Uma vez definido o grupo de empresas a serem analisadas, foi realizada a compilação de dados acerca das iniciativas lançadas. Para isso, foram considerados todos os projetos e parcerias ligados às tecnologias digitais consideradas chave para a Indústria 4.0, discutidas no capítulo IV deste trabalho. As fontes das informações coletadas incluíram relatórios anuais, press releases e artigos, entrevistas com diretores ou líderes tecnológicos das empresas, relatórios de empresas de consultoria conceituadas e press releases de parceiros tecnológicos das empresas químicas selecionadas. Foi feito um breve resumo sobre as atividades de manufatura avançada de cada uma dessas vinte empresas, incluindo as aplicações diretas das tecnologias já divulgadas. Em seguida, as iniciativas encontradas foram analisadas a fim de encontrar similaridades e diferenças na adoção das tecnologias habilitadoras e na abordagem das empresas químicas em relação a elas.

Além disso, as empresas químicas também foram separadas de acordo com o seus setores de atuação - químicos de base, empresas integradas ou especialidades químicas - conforme mostra a tabela 4. Esse passo visa investigar possíveis relações entre o portfólio de uma empresa e sua abordagem em relação à Manufatura do Futuro. Segundo Westerheide *et al.* (2017), os produtos químicos de base incluem fertilizantes, gases industriais e outros materiais básicos inorgânicos, bem como químicos primários (por exemplo, etileno, propileno ou benzeno), intermediários orgânicos e polímeros padrão. Já as especialidades químicas compreendem tintas e revestimentos, protetores de plantas, polímeros especiais, aditivos (por exemplo, retardadores de chama), revestimentos de proteção UV e aditivos alimentares, adesivos, sabões, detergentes e produtos de limpeza e cosméticos. Entretanto, é muito comum que as empresas químicas integrem verticalmente sua cadeia produtiva e produzam tanto químicos de base quanto especialidades. Além disso, a maioria das empresas apresentam um alto grau de diversificação. Os portfólios foram obtidos dos sites oficiais das empresas.

Tabela V.2: Portfólios das empresas químicas estudadas e classificação por setores de atuação.

	Empresa	Portfólio
QUÍMICOS DE BASE	Air Liquide	A empresa produz majoritariamente gases industriais, enquadrados como químicos de base.
	Linde	A Linde, assim como a Air Liquide, produz gases industriais.
EMPRESAS INTEGRADAS	Ineos	O portfólio da INEOS inclui predominantemente químicos de base (tanto petroquímicos quanto inorgânicos), com a produção de especialidades químicas em menor escala.
	Braskem	A Braskem produz predominantemente químicos de base (petroquímicos e químicos "verdes"), mas conta com um setor de solventes e especialidades químicas.
	Formosa Plastics	A Formosa Plastics produz, predominantemente, produtos químicos de base. Entretanto, há também uma subdivisão chamada Formosa Biomedical que produz detergentes, produtos de higiene pessoal e cosméticos.
	Yara	A Yara é uma produtora de fertilizantes (principalmente nitrogenados), com um setor de produtos químicos especializados. A empresa oferece também soluções para tratamento de gases e inertização.
	LyondellBasell	Os produtos da LyondellBasell estão divididos em Químicos (químicos de base), Polímeros (resinas plásticas) e Combustíveis (gasolina, diesel, lubrificantes).
	Dow/Dupont	Com a união das empresas, foram criados três setores: Agricultura, Ciência dos Materiais e Produtos Especializados. Em todos eles destaca-se a produção de especialidades químicas, como herbicidas, revestimentos, resinas, polímeros de alta performance, dentre outros.
	Sabic	O portfólio da Sabic é dividido em quatro áreas: Polímeros, Químicos, Agri-nutrientes (fertilizantes), Metais e Especialidades Química. Sendo assim, tem um perfil misto.
ESPECIALIDADES QUÍMICAS	Mitsubishi Chemicals	A Mitsubishi Chemicals produz tanto químicos básicos (petroquímicos) quanto especialidades químicas, incluindo produtos de alta performance.
	LG Chem	A LG Chem possui um setor de químicos de base e também um setor de químicos finos, no qual produz soluções de proteção agrícola, fármacos e catalisadores avançados.
	Sumitomo Chemical	A Sumitomo Chemical tem uma gama diversificada de produtos, incluindo produtos químicos básicos, petroquímicos e plásticos, produtos químicos finos, produtos químicos agrícolas, produtos químicos relacionados a TI e produtos farmacêuticos.
	BASF	A Basf é uma empresa de químicos integrada e possui um portfólio bem variado, com cinco categorias: Químicos, Produtos de alta performance (pigmentos, aditivos), Materiais e soluções funcionais (catalisadores, revestimentos), Soluções de Agricultura (inseticidas, fungicidas) e Óleo e gás.
ESPECIALIDADES QUÍMICAS	Solvay	A Solvay é uma fabricante de produtos químicos especializados e de base, polímeros e plásticos processados. Tem dois setores de negócios: Químicos e Plásticos.
	Toray Industries	Com relação ao setor de químicos da empresa, não parece haver produção de químicos de base, apenas a produção de especialidades químicas.
	Covestro	O principal negócio da Covestro é composto por três segmentos que produzem e promovem continuamente matérias-primas para poliuretanos e seus derivados, o policarbonato plástico premium, bem como revestimentos, adesivos e outras especialidades.
	Evonik	A Evonik Industries é uma empresa de especialidades químicas envolvida em química fina, desempenho, construção e produtos químicos industriais, saúde e nutrição, revestimentos e enchimentos avançados e polímeros especiais, além de energia e imóveis.
	AkzoNobel	A Akzonobel produz apenas especialidades químicas, principalmente tintas e revestimentos.
	PPG	Assim como a Akzonobel, a PPG produz apenas especialidades químicas, principalmente tintas e revestimentos.

Fonte: Elaboração própria.

A última etapa da análise consistiu em confrontar os resultados encontrados com relatórios voltados para a Indústria 4.0 no setor químico, elaborados por empresas de consultoria renomadas (como PwC, McKinsey e Accenture) a fim de corroborar a análise realizada. Uma vez definido o estado da implantação das tecnologias relacionadas à

manufatura do futuro na indústria química, foi definido o seu quadro atual, assim como uma previsão para os próximos anos. A figura V.1 representa o fluxograma da metodologia usada para elaboração desse estudo.

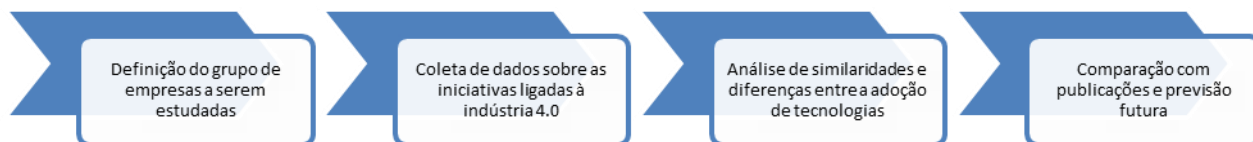


Figura V.1: Fluxograma de metodologia por trás da análise das iniciativas na indústria química.

Fonte: Elaboração própria.

V.2. Iniciativas das empresas químicas

Nessa seção estão resumidas as principais iniciativas divulgadas pelas empresas químicas estudadas. Algumas empresas foram agrupadas em um mesmo tópico devido a características comuns de seus setores de atuação ou de suas abordagens em relação à Manufatura do Futuro. Além disso, as empresas Dow e Dupont foram consideradas conjuntamente como DowDupont, devido à sua fusão em 2017.

- BASF

A empresa alemã BASF já divulgou algumas das suas iniciativas relativas à Manufatura do Futuro, as quais estão focadas no uso de dados e na digitalização como ferramentas para agregar valor e produtividade, conforme mostra a figura V.2. Netzer (2017) destaca alguns usos de *big data* e *analytics* pela BASF: na pesquisa de catalisadores, a BASF implementa testes rápidos baseados em modelos matemáticos e experimentos, gerando uma visão muito mais simples de conexões complexas por meio de dados em rede. Para tintas automotivas, a BASF usa dados em tempo real da linha de pintura dos clientes para ajustar de maneira ideal a cor com base nas suas necessidades. Na pesquisa de enzimas, a BASF combinou suas próprias e informações externas em grandes registros de dados. Os pesquisadores complementam o trabalho experimental modelando os processos físico-químicos subjacentes e simulando experimentos usando ferramentas computacionais

comerciais e internas (OTTEWELL, 2014). Em biotecnologia, por exemplo, a mineração de dados ajuda a identificar enzimas promissoras ou bactérias adequadas mais rapidamente, como parte do desenvolvimento de produtos ou processos (BASF, 2017).

A Basf também usou *analytics* para otimizar a demanda de vapor. Um novo modelo estatístico, baseado em grandes quantidades de dados, fornece cálculos mais precisos: o software leva em conta, entre outras coisas, informações históricas e atualizadas sobre paralisações de produção, dados meteorológicos e índices econômicos. A previsão para a demanda de vapor já melhorou em até 60% (NETZER, 2017). Na planta de Verbund, em Ludwigshafen, a empresa usa técnicas de manutenção preventiva no *steam cracker*, o coração da produção. Vários milhares de sensores registram dados do processo, como temperatura e pressão, 24 horas por dia. Isso facilita a operação e o monitoramento otimizados das plantas. Outro exemplo são os modelos de negócios digitais - como serviços, soluções de plataforma e licenças que os clientes obtêm e usam - que criam valor adicional para os clientes e para a Basf (BASF, 2017).

As plataformas digitais mesclam dados globais de transporte e os combinam com dados meteorológicos relevantes, murais de notícias de fontes tradicionais e também de mídias sociais. Esse quadro muito mais abrangente permite que as equipes de logística e atendimento ao cliente colaborem em eventos que afetam a cadeia de suprimentos, resultando em informações mais oportunas e precisas para os clientes. O *Maglis* é uma plataforma online que ajuda os agricultores a usarem as informações disponíveis de maneira mais eficiente para melhores decisões de gerenciamento de culturas (BASF, 2017). O *Maglis* está sendo desenvolvido em colaboração com agricultores e especialistas em agricultura para entender melhor as necessidades dos agricultores e agregar valor às suas vidas e negócios.

Ainda segundo o seu relatório anual (BASF, 2017), uma outra plataforma chamada *OASE connect* está sendo desenvolvida pela empresa para que, no futuro próximo, a BASF possa oferecer maior suporte aos clientes no negócio de tratamento de gás. Com a ajuda da plataforma, a equipe de negócios fortalecerá seu serviço e oferecerá aos clientes da BASF acesso em tempo real a informações relevantes que auxiliem nas tomadas de decisão. As funcionalidades incluem, por exemplo, um software que ajuda os clientes a encontrarem as configurações ideais para o seu sistema e a ajustarem os parâmetros importantes. Os clientes poderão usar uma ou mais funções da plataforma e adquirir os serviços de acordo com as suas necessidades.

De acordo com Blackburn *et al.* (2015), a BASF está implementando uma abordagem de análise preditiva combinando os dados históricos da empresa com os dados econômicos, o que permite prever a demanda. O modelo de previsão considera fatores externos, como efeitos sazonais, dados macroeconômicos para as indústrias de clientes nos níveis nacional e regional, mudanças regulatórias e fatores internos, como as estratégias da BASF - expansão, fusões e aquisições, desinvestimentos e outras transações. Usando o modelo de previsão, a BASF pode planejar e adaptar seus ciclos de produção conforme a demanda muda.

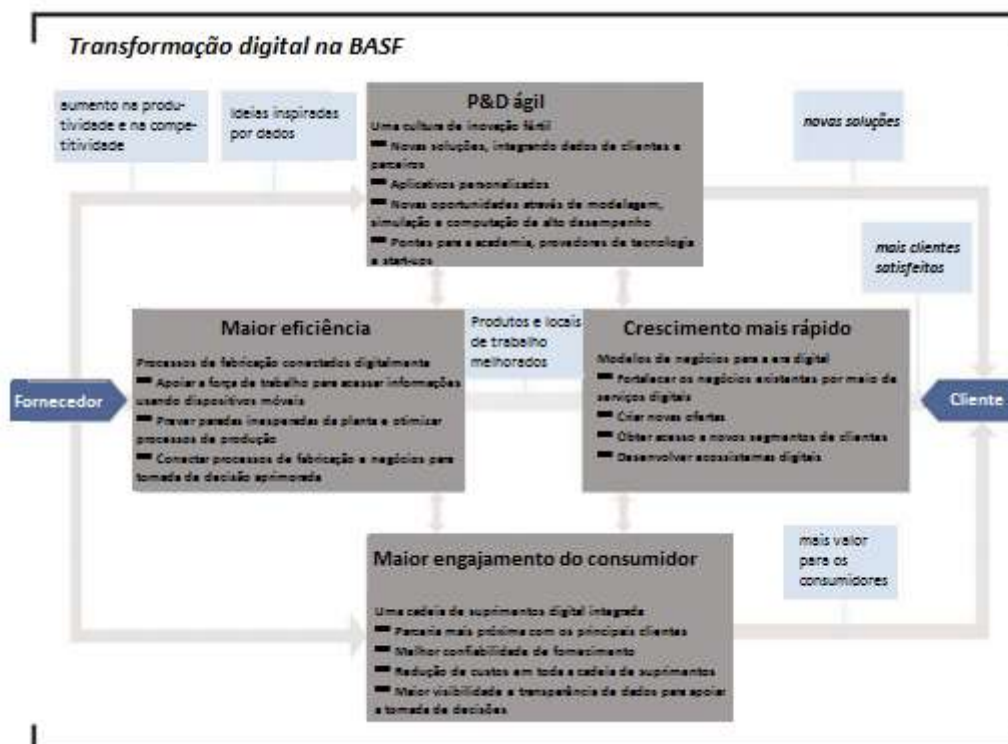


Figura V.2: Estratégia de digitalização da BASF.

Fonte: Netzer, 2017.

- Dow/DuPont

Apesar de ser uma fusão de duas gigantes do setor químico, a DowDuPont não divulgou muito de seus projetos relacionados à Indústria 4.0. Isso não significa que a empresa não esteja avançando nessa área, visto que o antigo CEO da Dow, Andrew Liveris, foi nomeado chefe do Conselho de Produção do Presidente Trump em 2017 e, antes disso, atuou como copresidente da Parceria de Manufatura Avançada do Presidente Obama (BHATTACHARJEE, 2018). Uma iniciativa conhecida é a criação de uma complexo industrial inteligente em parceria com a Saudi Aramco. A Sadara Chemical Company,

resultado dessa aliança, conta com soluções de gerenciamento de operações móveis para toda a empresa que permitem que o pessoal realize inspeções de manutenção e de qualidade com dispositivos móveis e sincronize-as com o banco de dados de status da planta (SPELMAN *et al.*, 2017).

A Dow vende apenas para outros fabricantes, não diretamente para os consumidores, mas considera valioso explorar as mídias sociais para avaliar o sentimento do consumidor sobre os produtos de seus clientes corporativos (WHITE, 2015). De acordo com a CIO (*Chief Information Officer*) da Dow, Melanie Kalmar, a empresa quer implementar a “escuta do mercado” e, com isso, ajudar seus negócios a compreender os atributos dos produtos que os clientes precisam (HIGH, 2018). Para entender a cadeia de vendas entre empresas químicas B2B2C (*business-to-business-to-client*) usando analítica social, os cientistas da Dow Chemical estão ouvindo mais de 22.000 conversas nas mídias sociais para identificar rapidamente novas soluções que usam polímeros avançados da empresa e trazê-las para mercado mais rápido (IBM, 2017). Com as análises da IBM, esses engenheiros podem antecipar a demanda do consumidor por novos produtos.

A Dow diz se esforçar continuamente para liderar a indústria no aproveitamento de dados por meio da tecnologia para agregar valor à organização. Ao acessar dados de suas diversas plantas com análises em tempo real, podem antecipar e tratar possíveis problemas antes que eles afetem a qualidade do produto final e proporcionar economias anuais significativas em cada fábrica onde é feita a implementação (Harding, 2015). Segundo a CIO da Dow, a empresa está na vanguarda de novas tecnologias como a inteligência artificial e o aprendizado de máquinas (High, 2018). A companhia também usa a IoT no monitoramento de transporte dos seus produtos. Segundo Bankers (2013), a tecnologia GPS nos carros da empresa é conectada com sensores que monitoram a segurança do carro, as condições ambientais e a saúde mecânica pela rede. A Dow também usa tecnologia GPS celular para embarques intermodais de contêineres com sensores que medem temperatura, umidade, choque e luz. Os fluxos de dados são transmitidos para o software de gerenciamento de eventos que pode gerar alertas por email ou mensagem de texto baseados em regras para acionar respostas a eventos críticos.

Ademais, de acordo com a CIO da Dow, o departamento de engenharia da companhia está trabalhando para alavancar o uso de robôs e drones para inspeções em áreas perigosas (HIGH, 2018). A DuPont também investe em soluções digitais e tem um setor dedicado a

essa área, chamado DuPont Sustainable Solutions (DSS). Em seu website, a companhia disponibiliza diversos exemplos de casos, como o de uma refinaria canadense que precisava saber se os sistemas de gerenciamento de segurança de processo estavam sendo efetivamente implementados. A DSS resolveu esse problema por meio de um sistema integrado que coleta, gerencia, gera relatórios e fornece sugestões em tempo real para ajudar os gerentes a tomarem decisões com base em mais informações e gerenciarem melhor as tarefas.

- Sabic e Formosa Plastics

Ambas as companhias investiram em parcerias estratégicas com empresas líderes em tecnologia digital para transformar suas plantas em Manufaturas do Futuro. A Formosa Plastics se juntou à Intel para a implantação de uma plataforma IoT para manufatura inteligente (HUANG e WANG, 2015). Essa nova solução é desenvolvida com base na tecnologia da Intel e no conhecimento de automação de fábrica da Formosa, e inclui soluções digitais como um servidor em nuvem e análise de big data. Segundo Huang e Wang (2015), a plataforma aumenta a eficiência energética da Formosa Plastics, a capacidade de gerenciamento ambiental e a segurança industrial, pois a fabricação inteligente integra análises em tempo real, permitindo a previsão e o monitoramento - usando *big data*. Isso ajuda a equipe de operação e manutenção a detectar possíveis anomalias com antecedência, a fim de evitar interrupções de fabricação e endereçar em tempo hábil problemas de capacidade produtiva, proteção ambiental e segurança industrial. Como resultado, os custos operacionais podem ser reduzidos, enquanto a eficiência geral da fábrica pode ser aumentada.

Por meio de sua parceria com a *Airborne*, a tecnologia da Siemens para criar o novo sistema de linha de produção automatizada e digitalizada oferecendo alta velocidade e eficiência, a Sabic tem como objetivo reduzir os custos do sistema e agilizar a produção de aplicações feitas a partir de compósitos termoplásticos (SABIC, 2018), utilizando tecnologias de sensores e coleta de dados internamente para otimização da produção. Ademais, a Sabic utilizou a impressão 3D para produzir um protótipo de carenagem para caminhões projetado para reduzir o consumo de combustível e melhorar a aerodinâmica do veículo. A empresa também afirma estar usando a manufatura aditiva para validar os resultados de simulações de novos produtos, permitir realizar mudanças imediatas no projeto e reduzir drasticamente o tempo, custo e risco do desenvolvimento (KOENIG, 2015). A

SABIC também recebeu o prêmio máximo na categoria Melhor Design de Aplicações em Plástico por um protótipo de assento de avião impresso em 3D (SABIC, 2017).

- LyondellBasell e Ineos

Tanto a LyondellBasell quanto a Ineos não divulgaram iniciativas relacionadas à Manufatura do Futuro nem citaram as tecnologias digitais em seus relatórios anuais. Entretanto, uma solução baseada em IoT foi adotada por ambas empresas na parte de rastreamento e monitoramento de produtos. Segundo a European Space Agency (2017), a empresa belga Ovinto desenvolveu uma solução de monitoramento que se baseia no Globalstar, que é um provedor de rede de satélites comercial. Essa solução possibilita o acompanhamento em tempo real da carga e o monitoramento de ativos sem uso de energia. A INEOS encarregou a Ovinto de equipar a sua frota com o dispositivo de monitoramento e de configurar serviços adicionais baseados nos dados monitorizados. O sistema fornece um fluxo contínuo de dados, como localização, temperatura, pressão, vazamentos ou choques quase em tempo real. Essa solução foi adotada por várias empresas químicas, incluindo a LyondellBasell, a Ineos, a Sabic e a Evonik (DE BLOCK, 2016).

- Mitsubishi Chemicals e LG Chem

As asiáticas Mitsubishi Chemicals e LG Chem fazem parte de conglomerados, que incluem subsidiárias de setores de maquinário ou eletrônicos dentro do mesmo grupo, o que facilita a automação extrema de suas fábricas em relação às outras empresas químicas. De fato, a LG CNS, unidade de integração de sistemas do LG Group, lançou a plataforma de fábrica inteligente integrada FACTOVA, que combina inteligência artificial, análise de big data, IoT e outras tecnologias emergentes e que foi implementada nas manufaturas do grupo, como a LG Chem. Com o aplicativo FACTOVA, os usuários podem encurtar o tempo de planejamento do produto, por exemplo, de seis meses a dois ou três meses usando análise de mercado baseada em IA, automação de projeto e sistemas de simulação (DONG-CHEOL e KIM, 2018).

De acordo com seu relatório anual (MITSUBISHI, 2017), a Mitsubishi Chemicals estabeleceu, em abril de 2017, o “Escritório de Desenvolvimento de Tecnologia e Negócios Emergentes”. Ele fará uso da Internet das Coisas, inteligência artificial e *big data*, e será responsável pela criação de novos negócios combinando-os com tecnologias próprias. O

objetivo é criar novos modelos de negócios com ideias livres do ponto de vista da ciência de dados, tendo como alvo diferentes mercados, além da extensão dos negócios atuais, como o de sistemas de controle para fábricas. O Escritório também empregará tecnologias de IA e IoT para automatizar o controle de processos, inspeções de qualidade de produtos e análises, desenvolver novos materiais e produtos farmacêuticos e melhorar a eficiência dos sistemas de produção em que humanos e robôs trabalham juntos.

Além disso, a empresa desenvolveu e agora está usando o *Real-time DB*, que é um sistema de monitoramento remoto em suas fábricas de produtos químicos, baseado em dados e computação em nuvem (WESTERVELT e RAVENSCROFT, 2016). Em outra área, a Mitsubishi Chemical desenvolveu uma série de filamentos para uso em impressoras 3D. Após lançar as vendas de um filamento feito de polietileno tereftalato (PET), a Mitsubishi Chemical planeja lançar um filamento de polipropileno (PP) e também um filamento de resina de álcool polivinílico modificado (PVOH) solúvel em água (*JAPAN CHEMICAL DAILY*, 2016). Recentemente, a empresa adquiriu a DUTCH FILAMENTS BV, um fabricante líder de filamentos de impressão 3D na Europa (HOOGERDIJK, 2018).

- Air Liquide e Linde

As companhias fazem parte do pequeno grupo de empresas químicas que decidiram investir em realidade aumentada e simulação. Em 2017, a Linde apresentou uma aplicação de desenvolvimento próprio que permite aos usuários explorar os menores detalhes de uma planta de escala industrial, antes mesmo de ser construída (HAGN, 2017). Segundo Healy (2017), a divisão de engenharia do Grupo Linde desenvolveu a simulação para treinar operadores de maneira segura e eficaz, aprimorar processos internos e fornecer serviços adicionais aos clientes. A realidade virtual é acessada por meio de um par especial de óculos inteligentes que permitem uma conexão remota com um especialista da Linde. Na Air Liquide, "óculos conectados" permitem que os operadores façam interface com especialistas localizados em outros locais, enquanto o treinamento baseado em realidade virtual os ajuda em suas tarefas diárias (BRUGIER e DES ROYERIES, 2018).

A Air Liquide investiu também em *big data* e *analytics*, de acordo com o relatório anual da companhia (2016). O projeto *Connect* visa o uso ótimo dos dados da empresa e tem o apoio da iniciativa nacional *Industrie du Futur*. Através de *big data* combinado com a inteligência e experiência dos seus funcionários, o fluxo de trabalho de cada unidade de

produção da Air Liquide é ligado ao seu *Smart Innovative Operations (SIO) Center*. Esse centro de inovações inteligentes, localizado em Kuala Lumpur, integra, otimiza e controla remotamente as operações das unidades de produção, aproveitando análises preditivas e tecnologias digitais. Na parte de relacionamento com o cliente, a Air Liquide desenvolveu uma nova plataforma digital em parceria com o Hospital Universitário La Fe, em Valência, Espanha em 2016. Esta plataforma permite o acompanhamento personalizado em casa para aproximadamente 200 pacientes que sofrem de doenças crônicas usando um tablet para transmitir dados importantes para os enfermeiros.

O grupo Linde também visou melhorar o relacionamento com seus clientes por meio do lançamento de um Portal do Consumidor, cujo objetivo seria ajudar os clientes a identificar peças quebradas dentro da fábrica, fazer com que sejam verificadas pela Linde e, em seguida, enviadas diretamente para o local (HEALY, 2017). Na Ásia-Pacífico, a Linde já estabeleceu Centros de Operações Remotas em Xangai e Kuala Lumpur que combinam inteligência artificial com grande volume de dados de extensas redes de sensores para operar remotamente mais de 200 plantas em 14 países diferentes otimizando a produção e uso de energia (OWEN-JONES, 2018). Além disso, o grupo tem usado *big data* para manutenção preventiva e para evitar paradas não planejadas (HEALY, 2017).

De acordo com Bush (2018), a 42 Technology, uma empresa B2B de computação em nuvem, está ajudando a desenvolver um conceito inteligente de válvula de cilindro de gás para a Linde que usará a tecnologia IoT para permitir que os cilindros de gás sejam gerenciados remotamente. Chamado de *EVOS DCi*, ele usa serviços de dados em nuvem para armazenar dados, permitindo que os usuários vejam onde os cilindros estão localizados, o que eles contêm e quão cheios eles estão (BUSH, 2018). Além disso, a Linde uniu-se recentemente a uma start-up especializada em inteligência artificial para desenvolver uma solução digital que pode ajudar a prever com segurança e evitar riscos que possam surgir durante o transporte de gases para os clientes por caminhão, sistema que já está sendo usado no Reino Unido (SAMPSON, 2018).

Ambas as companhias estão investindo no potencial da impressão 3D como tecnologia revolucionária. A Linde colabora com universidades e fabricantes, como o Airbus Group Innovations, para melhorar os processos de Manufatura Aditiva. Além disso, a Linde abriu um Centro de P&D para manufatura aditiva perto de Munique em 2016, onde o laboratório está focando no efeito de gases atmosféricos e misturas de gases em pós metálicos

para otimizar os processos de camadas durante a impressão 3D (SAMPSON, 2018). Já a Air Liquide está contribuindo para a criação de um novo setor industrial francês na área de manufatura aditiva com o lançamento do projeto colaborativo FAIR (Manufatura Aditiva para a Intensificação de Reatores), que é apoiado pela iniciativa francesa *Industrie du Futur* (COCKERILL, 2016).

- Toray Industries e Sumitomo Chemicals

Em uma parceria com a empresa General Electric, uma solução local chamada Plant Applications permitiu que a Toray coletasse dados em tempo real diretamente de dispositivos e ativos para indicadores-chave de desempenho importantes, bem como realizasse análises em lote para otimizar as operações (GE DIGITAL, 2017). As aplicações permitiram que os operadores supervisionassem a fabricação em um nível mais granular, o que melhorava a eficácia geral do equipamento, a qualidade da produção e reduzia o desperdício de material, ajudando a aumentar a eficiência e diminuir os custos. Ao implementar outras soluções de ponta, a Toray Plastics utilizou informações baseadas em *big data* para obter visibilidade das possíveis interrupções de produção e tempo de inatividade. A Toray Plastics parece estar buscando continuar sua jornada de digitalização alavancando a inteligência artificial para transformar suas operações contínuas de processamento.

A Toray Industries também está criando materiais avançados e desenvolvendo negócios nas áreas de materiais eletrônicos e de informação, materiais compósitos de fibra de carbono, produtos farmacêuticos, dispositivos médicos e tratamento de água (TORAY, 2016). Cofabricado com a empresa de telecomunicações japonesa Nippon Telegraph and Telephone (NTT), o tecido desenvolvido pela Toray - chamado Hitoe - usa nanomateriais de fibra revestidos com polímero condutor e embutidos com sensores para detectar os batimentos cardíacos, fadiga e estresse (LEE, 2016).

A Sumitomo Chemicals se mostra otimista com as oportunidades da Manufatura do Futuro e tem realizado parcerias para promover sua implantação. A mais recente é a compra de uma plataforma baseada em computação em nuvem da Amazon Web Services (AWS) (ISHII e KAWAYAMA, 2018). Em um de seus press releases (2016), a empresa indicou também uma parceria com a Accenture, uma empresa americana de consultoria líder em digitalização, para a adoção das tecnologias-chave. Por um lado, uma plataforma digital capaz de utilizar informações sobre toda a cadeia de valor do Sumitomo Chemical Group será

construída para realizar o gerenciamento em tempo real da cadeia de suprimentos global do grupo e aprimorar ainda mais os recursos analíticos de dados. Ao mesmo tempo, um ambiente operacional de funções administrativas será atualizado, empregando tecnologias como inteligência artificial e robótica.

Além disso, como parte de suas atividades preventivas de manutenção de plantas, a Sumitomo Chemical está analisando a viabilidade de prever falhas potenciais na planta por meio de IA e análise de *big data* com o uso de sensores conectados ao equipamento da planta para coleta de dados do processo (TODA e JASPER, 2017). Na parte de relacionamento com os clientes, a empresa busca prover soluções inteligentes no setor agroquímico. Por enquanto, a Sumitomo Chemical está automatizando rapidamente os processos atualmente feitos manualmente. Além disso, imagens aéreas de drones serão ligadas a observações reais de arrozaais para criar imagens que dão aos agricultores uma ideia mais clara das condições das plantações. Equipamentos de diagnóstico de solo de alta velocidade também serão introduzidos. Os dados recolhidos no local serão enviados através de um dispositivo móvel para uma base de dados. Usando este banco de dados, a Sumitomo Chemical criará um programa para determinar as medidas apropriadas com base nos dados mais recentes das fazendas (JAPAN CHEMICAL DAILY, 2016).

- Akzonobel e PPG

Nessas companhias, que são competidoras no mercado de tintas e resinas, pode-se identificar uma forte tendência de oferecer serviços digitais aos clientes e consumidores. Segundo Challener (2018), a AkzoNobel considera o lado operacional, o lado da experiência do cliente e o potencial para criar e implementar modelos de negócios previamente não utilizados. Eles já desenvolveram vários serviços para clientes como o Intertrac Vision (revestimentos marítimos), o Carbeat (conserto de revestimentos para automóveis) e o Visualizer (revestimentos para decoração de casas), que são baseados em *big data* e computação em nuvem.

A PPG também está ajudando a ampliar a digitalização das oficinas de pintura, introduzindo um tablet contendo um software, chamado Performa, que a equipe pode usar para coletar e analisar dados. A companhia disponibiliza também um aplicativo baseado na computação em nuvem chamado MeasureColor Mobile. Ainda na parte de CRM, a PPG anunciou o lançamento de seu novo Preferred Homeowner Portal - um site que oferece

descontos e abatimentos ao preço de varejo para compradores de imóveis residenciais, facilitando os retoques de tinta e atualizações (ALTMAN e EDGAR, 2016). Ademais, entre as novas tecnologias nas quais a PPG está conduzindo estudos de viabilidade estão superfícies inteligentes, fabricação aditiva em 3D e tintas termicamente condutoras (MILMO, 2017).

A Akzonobel, por outro lado, investiu em uma estratégia de uso das tecnologias digitais para criação de fábricas inteligentes e para promover a excelência operacional. Na fábrica localizada em Deventer, na Holanda, a empresa usa ferramentas de simulação com uma ampla aplicação em P&D e engenharia de processos, pois combina simulação de operações unitárias e simulação total da planta (OTTEWELL, 2014). Além disso, a empresa investiu no potencial do *big data* para melhorar a tomada de decisões. Os usos estão relacionados a utilização da planta, seleção de projetos de P&D, análise de vendas e à inteligência de oferta e demanda. Eles também estão empregando o uso mais criativo de sensores para medir todos os aspectos que afetam os negócios (LOZOWSKI, 2017).

Segundo Crottaz (2014), a AkzoNobel usa dados de pontos de venda de lojas de varejo para reduzir os riscos operacionais associados a tintas fora de demanda e os custos de manutenção associados a estoques de baixa rotatividade. Como parte de um programa maior de eficiência da cadeia de suprimentos, a empresa está procurando uma solução única para alcançar três objetivos estratégicos: fornecer maior atendimento ao cliente, reduzir estoques em excesso (em particular, estoques de segurança gerados por erros de previsão elevados) e transformar os dados de vendas em valor para a AkzoNobel e seus clientes.

A Akzonobel contratou a empresa DXC para transformar e gerenciar as redes locais em todas as suas 1.200 localidades em mais de 80 países. Ao conectar diferentes dispositivos e sensores em fábricas e lojas, o novo ambiente oferece oportunidades para aplicativos de IoT, como a análise de temperaturas, velocidade e necessidades de manutenção em ambientes de produção (TREICHL, 2017). De acordo com Twentyman (2017), na planta de Ashington, a Akzonobel construiu a mais avançada fábrica de tintas do mundo, onde todas as tecnologias de manufatura são gerenciadas por um único sistema integrado de computador. Isso significa que todas as atividades - desde o pedido de matérias-primas até o envio de produtos acabados - podem ser iniciadas sem intervenção do operador.

- Evonik e Covestro

A abordagem voltada para as necessidades dos clientes é também uma prioridade para companhias como a Evonik e a Covestro. Segundo Challener (2018), a Covestro está desenvolvendo novas ferramentas digitais que ajudam os formuladores a encurtar o processo de desenvolvimento e escolher os materiais certos. Um exemplo é a interface digital *HapticMapping*, que permite aos formuladores variar livremente um conjunto de produtos Covestro em uma formulação e visualizar a interação entre todas as propriedades do revestimento. Outra iniciativa é a nova plataforma digital para compras eficientes que permitirá que os clientes comprem os materiais da Covestro online a preços de mercado atuais. De acordo com Westervelt e Ravenscroft (2016), a Evonik também considera que desenvolver soluções voltadas para o consumidor é uma necessidade para que a empresa possa se manter competitiva. O lançamento de uma plataforma de comércio online é um dos projetos estudados pela subsidiária de digitalização da empresa, a Evonik Digital.

Em P&D, em particular, empresas como a Evonik e a Covestro apostaram no uso da IA e na aprendizagem cognitiva para otimizar a pesquisa. Em julho de 2017, a Evonik anunciou que reservaria 100 milhões de euros para a digitalização e também entraria em parcerias estratégicas com a IBM e a Universidade de Duisburg-Essen que permitirão à empresa alavancar tecnologias cognitivas e baseadas em computação em nuvem da IBM (CHALLENGER, 2018). A Evonik construiu um laboratório de *big data* que coopera com os negócios na identificação de casos de uso para qualquer processo de negócio imaginável, começando com exemplos como previsões de vendas, planejamento de produção e utilização do fluxo de informações dentro da cadeia de suprimentos (WESTERVELT e RAVENSCROFT, 2016).

A Covestro também está combinando décadas de dados sobre como produtos e tecnologias podem ser usados em várias aplicações de pintura e revestimentos com aprendizado de máquina e IA para encontrar soluções para seus mercados e clientes. Eles estão analisando dados de processos e de clientes usando algoritmos desenvolvidos internamente para aprimorar seus produtos ou processos de fabricação, otimizando os produtos existentes ou desenvolvendo novas soluções. A cadeia de suprimentos também é fortemente impactada e a empresa está implementando novas maneiras para os clientes

solicitarem materiais, acessarem o inventário e simplificarem as transações (CHALLENGER, 2018).

- Braskem

Atualmente, duas iniciativas ligadas à Manufatura do Futuro se destacam na Braskem. A primeira é o uso de plástico verde em impressão 3D, processo desenvolvido em uma parceria com a Made In Space, uma empresa norte-americana líder no desenvolvimento de impressoras 3D para operação em gravidade zero e fornecedora da NASA. Esse processo foi considerado vital pela NASA para viabilizar uma missão tripulada até Marte, pois permite a fabricação de peças durante a missão (FONTES, 2016). A outra está relacionada a criação de “produtos inteligentes”. Segundo Fraga (2017), a Braskem está desenvolvendo polímeros inteligentes para a criação de "embalagens interativas", que utilizam indicadores específicos para sinalizar o estado de conservação do conteúdo nelas inserido e emitir um alerta externamente.

- Solvay

De acordo com Cartage (2017), existem 5 iniciativas prioritárias da Manufatura do Futuro que receberão maior investimento do Grupo Solvay nos próximos anos: melhoria do desempenho de recursos através de '*data analytics*', maximização de valor da rede de ativos, confiabilidade de ativos por meio de dados, força de trabalho digital e robótica. A empresa citou também o uso de computação em nuvem para realizar essas iniciativas. Dentre as aplicações de *big data* e *analytics* já empregadas, destacam-se a manutenção preventiva, a análise de vendas, logística e redução de risco (Mari, 2016). Além disso, a Solvay está se posicionando no mercado de manufatura aditiva, alavancando seu portfólio de polímeros de alto desempenho (SOLVAY, 2017). Com relação aos serviços para clientes, a Solvay está lançando em 2018 a sua loja virtual na plataforma B2B da Alibaba, em colaboração com a gigante chinesa do comércio eletrônico (SOLVAY, 2018).

Adicionalmente, a Solvay e a empresa Butachimie fizeram uma parceria com a Siemens para atualizar as instalações de uma planta conjunta. O conceito baseia-se na conexão de software com soluções integradas que permitem a digitalização da planta, garantindo uma troca de dados eficiente em todos os níveis. Para permitir que as subunidades testem mudanças de forma confiável antes da migração e recomissionamento, a

Solvay/Butachimie pode usar um “gêmeo virtual”. Essa representação virtual é equivalente à planta física em todos os aspectos e pode ser usada para a simulação e otimização de comissionamento, operação e manutenção. (ANGERBAUER, 2016).

- Yara

A maior aposta da Yara, produtora de fertilizantes, é na agricultura digital, que representa o uso de tecnologias digitais para otimização da produção agrícola. De acordo com seu relatório anual (2017), a empresa segue com uma agenda ampla nessa área, incluindo iniciativas que visam maior conectividade de ferramentas e serviços, além de adicionar sensores novos e mais avançados e maneiras de coletar informações, como drones, por exemplo. A Yara afirma investir também em modelagem avançada e *big data*, como para simular as condições ótimas e o tratamento ideal de uma fazenda, dependendo do clima.

Ademais, em 2017, a Yara formou com a Bayer um acordo de colaboração e licenciamento de software para fornecer aos agricultores ferramentas de produtividade digital. A Yara licenciará à Bayer uma tecnologia própria que serve para determinar o status nutricional das plantas usando um aplicativo de smartphone. Esse aplicativo pode ser vinculado ao “N-Sensor” também criado pela Yara, que é um dispositivo montado em trator capaz de ajustar a quantidade de fertilizante aplicada de acordo com características da cultura (SCOTT, 2017). À parte dos investimentos relacionados a esse modelo de negócios com fornecimento de serviços digitais, a empresa não divulgou outras iniciativas.

V.3. Análise das Iniciativas

Segundo Westerman *et al.* (2016), autores da *Global Industry 4.0 Survey* da empresa de consultoria PwC, nos bastidores das principais empresas de produtos industriais do mundo, uma profunda transformação digital está em andamento - e o setor de produtos químicos não é exceção. De fato, a análise das iniciativas das vinte maiores empresas químicas mostra que a maior parte delas está investindo fortemente nas tecnologias digitais habilitadoras da Manufatura do Futuro. Apenas duas (LyondellBasell e Ineos) dentre as vinte empresas estudadas não mencionaram uma transformação digital em andamento em seus relatórios anuais. A tabela V.3 mostra as iniciativas relacionadas às tecnologias habilitadoras da manufatura do futuro por cada empresa química estudada.

A Internet das Coisas foi a tecnologia que mais apareceu dentre empresas químicas estudadas, como era esperado, visto que ela representa a base para as transformações digitais da Manufatura do Futuro. Mesmo empresas que não a citaram explicitamente, usaram soluções digitais nela baseadas. Em segundo lugar, foi demonstrado grande interesse pelo uso de *big data* e *analytics* em diversas áreas da fabricação, incluindo P&D, cadeia de suprimentos, gerenciamento de riscos, demanda de energia e manutenção preventiva. Oitenta por cento das empresas químicas analisadas indicou estar implementando soluções baseadas em *big data* e *analytics* atualmente.

Tabela V.3: As tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro citadas nas iniciativas divulgadas por cada uma das empresas químicas estudadas*¹⁶.

	TECNOLOGIAS HABILITADORAS						
	Sistemas ciberfísicos	Big data e analytics	Computação em Nuvem	Internet of Things	Manufatura Aditiva	Inteligência Artificial	Robótica
BASF	X	X		X	X		
DOW/DuPont		X	X	X		X	X
Sabic	X	X		X	X		
Formosa Plastics	X	X	X	X			
LyondellBasell				X			
Ineos				X			
Mitsubishi Chemicals		X	X	X	X	X	X
Air Liquide		X		X			
LG Chem		X		X		X	
Toray Industries		X		X		X	
Linde		X	X	X	X	X	
AkzoNobel	X	X	X	X			
PPG			X	X	X		
Evonik		X	X	X			
Braskem				X	X		
Sumitomo Chemical	X	X	X	X	X	X	
Covestro		X		X		X	
Solvay		X	X	X	X		X
Yara		X		X			

Fonte: Elaboração própria.

¹⁶ Tendo em vista a fusão da Dow com a DuPont, essas empresas foram consideradas conjuntamente.

De fato, a computação em nuvem, que pode ser adquirida como serviço a demanda, representa uma grande oportunidade para as empresas químicas, que geram quantidades enormes de dados. Dentre as iniciativas divulgadas, sabe-se que a DowDupont e a Evonik contrataram os serviços de computação em nuvem da IBM, enquanto a Sumitomo Chemicals optou pela parceria com a Amazon Web Services (AWS). As aplicações da computação em nuvem por essas empresas englobam a área de operações e produção e também a parte de relacionamento com o cliente, por meio de aplicações e plataformas digitais.

Dentre as outras tecnologias-chave, a manufatura aditiva tem relevância direta para muitas aplicações químicas, abrindo potencial para alterações na cadeia de valor e criação de novos modelos de negócios (WESTERMAN *et al.*, 2016). De acordo com a análise de iniciativas, empresas químicas em diversos segmentos como BASF, Sabic, Mitsubishi Chemicals, Linde, PPG, Braskem, Sumitomo e Solvay estão investindo nas tecnologias de impressão 3D por meio da criação de novos materiais e processos. A vantagem das companhias químicas na manufatura aditiva em relação aos outros setores é que elas desempenham um papel central na evolução e viabilização dessa tecnologia, principalmente no desenvolvimento dos materiais a serem utilizados na manufatura aditiva.

De acordo com Klei *et al.* (2017), o mercado de polímeros e produtos químicos usados na manufatura aditiva está crescendo a 30% ao ano e deve crescer de US\$ 0,7 bilhão em 2015 para US\$ 2,5 bilhões em 2020. Diversas empresas químicas notaram o potencial transformador da manufatura aditiva e formaram parcerias com empresas que desenvolvem os equipamentos para impressão 3D, vide a cooperação entre a Braskem e a *Made-In-Space* para a NASA ou a parceria entre os grupos Linde e Airbus. Por isso, é importante para as empresas garantir a participação nesse mercado em expansão, seja por meio de investimentos em P&D, parcerias com universidades (Air Liquide) ou aquisições (Mitsubishi Chemicals).

Com relação aos sistemas ciberfísicos, um menor percentual das empresas químicas analisadas demonstrou estar investindo em fábricas inteligentes. Isso se deve a dois fatores, de acordo com Spelman *et al.* (2017). Primeiramente, sistemas de controle de processo e sensores têm sido usados na produção há décadas, então a indústria química não está iniciando sua própria transformação digital do zero. De fato, a própria natureza dos processos de manufatura de produtos químicos exige um nível sofisticado de controle e automação a fim de minimizar riscos de segurança e incidentes de qualidade. O segundo fator é que, embora o retorno esperado pela digitalização das operações de uma planta seja considerável,

precisa-se descontar os custos associados à implementação de sistema automação e controle mais avançados. Conforme visto anteriormente, algumas empresas como Basf, Sabic, Formosa Plastics, Akzonobel e Sumitomo Chemicals estão investindo em fábricas inteligentes baseadas em CPS e na IoT.

A inteligência artificial e a robótica também foram empregadas por um menor número das empresas químicas analisadas. Na maior parte dos casos, a inteligência artificial aparece associada a *big data* e *analytics*, seja para melhoria de processos, pesquisa ou serviços ao consumidor. Westerman *et al.* (2016) afirmam que a robótica e a corobótica oferecem oportunidades para melhorar as atividades operacionais. Entretanto, demandam um maior nível de investimento, o que dificulta sua aplicação. Apenas três dentre as vinte empresas estudadas demonstraram ter planos para uso de robôs em suas produções. Outras tecnologias digitais como simulação e realidade aumentada foram citadas por algumas empresas, como Linde, Air Liquide, Solvay e LG Chem. A figura V.3 relaciona as tecnologias habilitadoras e o número de empresas que as empregam.

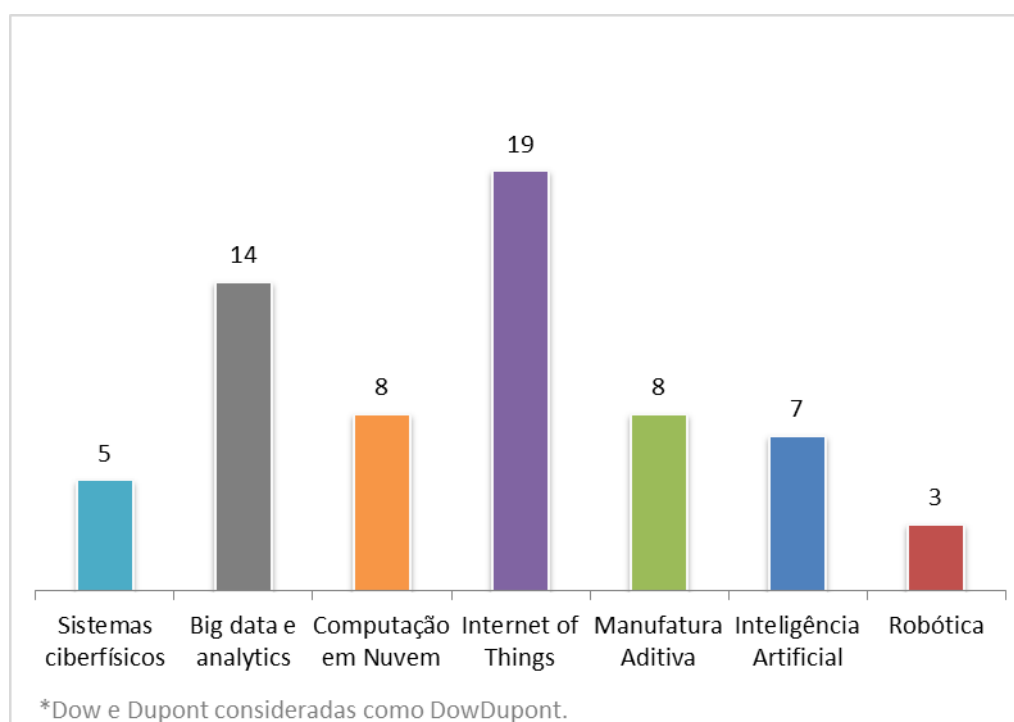


Figura V.3: Quantificação do emprego das tecnologias habilitadoras nas empresas estudadas.

Fonte: Elaboração própria.

Com base nas iniciativas relacionadas ao uso das tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro, pode-se perceber que 90% das empresas químicas estudadas

acreditam no potencial das tecnologias para aumentar seus rendimentos e produtividade, seja por meio da otimização e automação da produção, do desenvolvimento de novos produtos “inteligentes”, da criação de serviços e modelos de negócio digitais ou do aumento da transparência nas cadeias de suprimentos para tomar decisões estratégicas.

Vale ressaltar, porém, que as empresas químicas prosseguem em velocidades diferentes em sua jornada de digitalização: algumas estão formulando ou reformulando estratégias digitais, muitas vezes como uma parte explícita de seu plano corporativo; algumas criaram incubadoras digitais ou estão no meio da implementação de projetos digitais, outras já concluíram projetos de digitalização selecionados (por exemplo, no campo da planta digital) ou até lançaram suas primeiras ofertas de serviços digitais no mercado (SPELMAN *et al.*, 2017). Alguns exemplos são os aplicativos e ferramentas digitais desenvolvidos por empresas como Basf, Yara, Akzonobel e PPG para dar maior suporte aos seus clientes.

Sendo assim, a abordagem estratégica varia entre as empresas, com algumas investindo em vários setores da cadeia produtiva ao mesmo tempo e outras focando em áreas específicas, de acordo com seus interesses e necessidades. Ao analisar as iniciativas das empresas, pôde-se identificar quatro áreas de abordagem da Manufatura do Futuro: a planta digital, os modelos de negócios e serviços digitais, a P&D digital e a cadeia de suprimentos digital. A tabela V.4 resume as iniciativas digitais e seus impactos esperados dentro de cada área e também indica quais empresas se encaixam nessa abordagem.

Tabela V.4: Abordagem estratégica da Manufatura do Futuro em quatro áreas principais.

ABORDAGEM	INICIATIVAS	IMPACTOS	EMPRESAS
Planta Digital	<ul style="list-style-type: none"> Automação e controle de processos avançados via sistemas ciberfísicos Big data e analytics para manutenção preventiva, análise de riscos e redução de custos Simulação e realidade aumentada em treinamentos Uso de dispositivos móveis e computação em nuvem para integração digital da produção 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimento melhorado (menos produtos fora de especificação, por exemplo) Melhor eficiência energética Número reduzido de paradas necessárias Redução de emissões Maior segurança do trabalhador 	<p>Basf, DowDuPont, Sabic, Formosa Plastics, Mitsubishi Chemicals, LG Chem, Air Liquide, Linde, Toray Industries, Sumitomo Chemicals, Akzonobel, Solvay</p>
P&D Digital	<ul style="list-style-type: none"> Análise de <i>big data</i>, detecção de tendências, aprendizado de máquina, inteligência artificial e simulação para fazer experimentos virtuais IoT, robôs e sistemas autônomos para automação de procedimentos laboratoriais Uso de manufatura aditiva para prototipagem Criação de produtos "inteligentes" 	<ul style="list-style-type: none"> Maior eficiência em na experimentação em P&D Aumento das taxas de sucesso de P & D Agilizar o tempo de lançamento para o mercado Redução do número de execuções de teste e do uso de materiais e energia Redução de tempo e custo de desenvolvimento Soluções inovadoras 	<p>Akzonobel, Basf, Evonik, Covestro, Toray, Braskem, Sabic, Mitsubishi Chemicals</p>
Cadeia de Suprimentos Digital	<ul style="list-style-type: none"> Análise de fornecedores e gastos, agentes automáticos de compras, shoppings virtuais e portais de fornecedores Big data e analytics para detecção da demanda, previsão avançada e planejamento de vendas e operação aprimorado Armazém digital: análise dinâmica de inventário, torre de controle com capacidade digital, automação do armazém 	<ul style="list-style-type: none"> Melhores resultados de suprimento e fornecimento Maior eficiência na cadeia de suprimentos administrativa Redução de receita perdida devido a situações de falta de estoque Níveis de estoque otimizados Custo de distribuição/logística reduzido 	<p>Sumitomo Chemicals, Basf, Evonik, Covestro, Solvay, Akzonobel</p>
Serviços e Modelos de Negócio Digitais	<ul style="list-style-type: none"> Utilização de tecnologias digitais para projetar ou oferecer suporte a um serviço ou modelo de negócios digitalmente habilitado (por exemplo, analytics, IoT, plataformas) Análise do cliente, detecção de tendências, análise dinâmica de preços Integração dos canais; plataformas de e-commerce B2C e B2B; simulações de efeitos de produtos online; soluções móveis Inteligência artificial/aprendizado de máquinas no atendimento ao cliente; uso de robôs em interações de vendas e serviços "simples"; assistência especializada remota 	<ul style="list-style-type: none"> Novos participantes em plataformas / mercados comerciais Aumento de eficiência em marketing, vendas e atendimento ao cliente Melhor interação com clientes Maior fidelização via melhor compreensão do cliente e mecanismos de retenção Precificação específica do cliente 	<p>DowDuPont, Air Liquide, Linde, Basf, PPG, Akzonobel, Sumitomo Chemicals, Covestro, Yara, Solvay</p>

Fonte: Elaboração própria.

- **Planta Digital**

A indústria química continua seu esforço histórico para otimizar e agilizar os processos de produção. No entanto, seus líderes digitais enxergam o potencial de digitalizar ainda mais os ambientes da fábrica com tecnologias como a IoT, sensores e análise de dados na produção (SPELMAN *et al.*, 2017). De fato, pode-se observar que a maior parte das empresas químicas estudadas adota essa abordagem com foco no aumento da eficiência. Nessa área, pode-se identificar iniciativas de digitalização de empresas em todos os setores de atuação, desde químicos de base até especialidades químicas, sendo a Akzonobel e a Solvay as únicas empresas de especialidades químicas a investir em uma planta digital.

Naturalmente, empresas pertencentes a conglomerados como LG Chem e Mitsubishi Chemicals tendem a seguir por essa abordagem devido ao fato de seus grupos conterem também empresas subsidiárias líderes em tecnologias eletrônicas e automação, como a LG Electronics, a LG CNS, a Mitsubishi Electric e a Mitsubishi Heavy Industries, por exemplo.

Ambos os conglomerados industriais desenvolveram sistemas próprios para o controle digital integrado de suas empresas. Outras empresas químicas também adotaram a abordagem da planta digital, porém promovendo essa digitalização por meio de parcerias com empresas líderes em tecnologia, como é o caso da Formosa Plastics com a Intel, da Sabic e da Solvay com a Siemens, da Toray com a General Electric e da Sumitomo Chemicals com a AWS e a Accenture.

As duas maiores empresas químicas do mundo (BASF e DowDupont) também investiram nessa abordagem. Entretanto, o grau de engajamento na digitalização da produção não é o mesmo. Enquanto a BASF está investindo em tecnologias e soluções digitais em todas as frentes, de acordo com seu Chief Digital Officer (NETZER, 2017), a DowDupont está focada em melhorar a experiência de seus funcionários; transformar a experiência de seus clientes e se certificar que as novas tecnologias nas quais está trabalhando vão trazer crescimento na receita, nessa ordem, de acordo com sua CIO (HIGH, 2018). Atualmente, a BASF e Akzonobel podem ser consideradas como empresas químicas líderes na Manufatura do Futuro, visto que possuem iniciativas nas quatro áreas de abordagem.

Um dos maiores potenciais de ganho na planta digital está na manutenção preventiva baseada em *big data* e *analytics*. Essas tecnologias permitem que os fabricantes aproveitem seus dados para descobrir possíveis falhas em seus ativos antes que elas ocorram, reduzindo assim os custos de manutenção e otimizando o tempo de inatividade programado (CUSTEAU, 2018). Dentre as empresas estudadas, BASF, Formosa Plastics, Linde, Sumitomo Chemicals, Solvay e Akzonobel afirmaram estar usando ou investindo em modelos de manutenção preventiva, sendo esta a segunda maior área de investimento, após o controle digital.

Algumas empresas destacaram o uso de soluções digitais para integral a produção, como o uso de plataformas de computação em nuvem (Mitsubishi Chemical, Sumitomo Chemical) ou de dispositivos móveis (BASF, DowuPont) em suas operações. De resto, a tecnologia de realidade aumentada e virtual pode ser usada para acelerar o treinamento dos operadores, para explicar procedimentos operacionais passo a passo, em tempo real e também para fornecer informações críticas acerca de riscos existentes na localização dos operadores (CUSTEAU, 2018). Apesar disso, apenas a Air Liquide e a Linde investiram em soluções de realidade virtual.

Segundo Spelman *et al.* (2017), as companhias esperam que implementar a planta digital impulse a automação e a otimização dos processos de produção para melhorar o rendimento, a qualidade do produto e a eficiência energética. Essa foi a área de abordagem com o maior número de adeptos dentre as empresas estudadas. Por outro lado, esse número representa apenas 60% de um grupo composto pelas maiores empresas químicas do mundo em termos de volumes de vendas de produtos químicos. Ou seja, mesmo esta abordagem com menor potencial de transformação ainda parece não se mostrar tão atrativa para parte das grandes empresas químicas mundiais.

- P&D Digital

A indústria química é um dos setores que mais investe em P&D no mundo, com um nível de investimento global de 39,4 bilhões de euros em 2016 (CEFIC, 2017). De acordo com Baker (2017), depois de anos de redução de gastos, a indústria química está começando a gastar mais em pesquisa básica novamente, na busca por inovações graduais. Em parte, isso está sendo impulsionado pela necessidade de melhorar os retornos dos esforços de inovação e, em outra, está sendo estimulado pela necessidade de produzir materiais avançados em áreas como baterias, veículos elétricos, impressão 3D, exploração espacial e satélites, robótica, eletrônica, dentre outras. Apesar disso, apenas 8 das empresas químicas estudadas parecem estar adotando o uso de tecnologias digitais em P&D, promovendo a criação de produtos inteligentes ou usando manufatura aditiva em seus processos. Metade dessas são empresas de especialidades químicas e a outra metade são empresas integradas.

As oportunidades digitais associadas a pesquisa e desenvolvimento são inúmeras. A mais simples de ser aproveitada é o uso de tecnologias como *big data*, inteligência artificial e simulação para otimizar os processos de P&D e aumentar a taxa de sucessos (SPELMAN *et al.*, 2017). Empresas como Basf, Mitsubishi Chemicals, Evonik, Covestro e Akzonobel investiram no uso dessas tecnologias em sua divisão de P&D. Por outro lado, nenhuma empresa divulgou oficialmente uma solução de robótica nessa área. A automação de processos laboratoriais com o uso de robôs, por exemplo, pode reduzir o tempo gasto com testes e, assim, deixar os pesquisadores livres para explorar atividades mais complexas.

Dentro do campo de P&D digital, foi considerado também o uso de manufatura aditiva para prototipagem de novos produtos. Nesse caso, apenas a Sabic afirmou estar usando a impressão 3D para validar resultados de simulações no desenvolvimento de produtos. Na

realidade, algumas empresas químicas estão seguindo um outro caminho e investindo na pesquisa em manufatura aditiva, para otimizar processos ou gerar novos filamentos. Com relação a produtos inteligentes, apenas a Toray Industries e a Braskem sinalizaram a oferta de produtos conectados e equipados com sensores ou produtos capazes de transmitir informações sobre seu meio.

- Cadeia de Suprimentos Digital

Womack (2018) compara a Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain - SC*) tradicional com a cadeia de suprimentos digital. Segundo ele, as cadeias tradicionais consistem em informações que fluem do sistema de TI de uma organização para outro sistema de TI, normalmente com um envio de processo em lote, no qual o fluxo de informações é validado por um participante intermediário na cadeia de valor, adicionando custo e atraso e cujas mudanças tecnológicas exigem intervenção manual significativa. Já as cadeias digitais têm por características a coleta de informações em tempo real pelos parceiros participantes em um ecossistema de valor, a disponibilidade de dados baseada em IoT, a adaptação a mudanças facilitada graças aos sistemas cognitivos, a interface com processos ou dispositivos físicos pelo uso de sistemas ciberfísicos e a capacidade de interação baseada em fala ou linguagem natural com que torna mais rápido e fácil para os participantes encontrar soluções e impulsionar a inovação.

Segundo Hartmann *et al.* (2015), com novas ferramentas de gerenciamento de rede de suprimentos, os gerentes de fábrica têm uma visão mais clara das matérias-primas e peças manufaturadas que fluem através da rede de manufatura, o que pode ajudá-los a agendar melhor as operações de fábrica e as entregas de produtos a fim de cortar custos e melhorar a eficiência logística. Análise e detecção da demanda, previsão avançada, melhor planejamento de vendas, operações, análise e gerenciamento dinâmicos de inventário são algumas das possibilidades do uso de *big data* e *analytics* na SC. A digitalização da cadeia também pode ajudar a aumentar a transparência da cadeia de suprimentos e a automação de armazéns pode reduzir custos para as empresas.

Apesar disso, a abordagem digital na área da Cadeia de Suprimentos foi a menos mencionada entre as empresas estudadas. Apenas 6 empresas químicas divulgaram iniciativas relativas a essa área: Basf, Sumitomo Chemicals, Evonik, Akzonobel, Covestro e Solvay. Com relação às iniciativas dessas empresas, a Sumitomo Chemicals criou uma plataforma

digital para o gerenciamento em tempo real de sua cadeia de suprimentos global. Já a Evonik e a Akzonobel adotaram o uso de *big data* para previsão da demanda e planejamento da produção. A Basf propôs usar a digitalização para diminuir os custos e aumentar a transparência de dados e informações na SC. Tanto a Covestro quanto a Solvay buscam simplificar processos de logística e facilitar a integração com os clientes por meio de soluções digitais.

- Serviços e Modelos de Negócio Digitais

A abordagem de Ofertas e Modelos de Negócios Digitais foi a segunda mais adotada pelas empresas químicas estudadas, com 11 empresas de todos os setores de atuação afirmando estar progredindo digitalmente na sua relação com clientes e consumidores. Segundo Schuh *et al.* (2017), mesmo que a empresa não entregue diretamente ao consumidor final, seu produto ou serviço ainda faz parte da solução desse consumidor e quanto melhores as contribuições feitas para esta solução pelos parceiros individuais, mais sucesso as empresas em questão serão capazes de se diferenciar da concorrência. É nisso que acredita a DowDupont, que atualmente procura identificar as necessidades e preferências de seus consumidores finais e ajustar a sua produção de acordo.

Uma grande tendência que pôde ser observada foi a implementação de plataformas de comércio digitais por parte das empresas químicas. Por exemplo, ao implementar um portal de clientes intuitivo e mais abrangente, uma empresa líder em materiais e ciências da vida espera aumentar as vendas online de 10 a 20% de todas as vendas para pelo menos 40% (CABTREE *et al.*, 2015). O comércio eletrônico representa também uma oportunidade importante para as empresas da indústria química e já está sendo aproveitado pelas empresas Basf, Solvay, PPG e Covestro, por exemplo. Apesar disso, nenhuma empresa informou estar usando inteligência artificial ou robótica para otimizar seus processos de venda.

Outra tendência seria a agregação de serviços aos produtos, de maneira que as empresas passariam a produzir um pacote no qual o serviço é indissociável do produto (MANYIKA *et al.*, 2012). Empresas como Basf, Yara e Sumitomo Chemicals estão fornecendo soluções digitais para auxiliar seus clientes nos setores de agricultura e ajudá-los a aumentar sua produtividade. No setor de químicos de base, a Air Liquide divulgou um projeto de acompanhamento remoto de pacientes que usam cilindros de gás, em parceria com um hospital francês. Já a Linde investiu no relacionamento com os clientes de duas maneiras:

com uma plataforma digital que auxilia os clientes na manutenção e troca de peças e também com um sistema que disponibiliza informações sobre os cilindros de gás em tempo real.

Com relação às empresas de especialidades químicas, a PPG criou um portal do consumidor com descontos em tintas para proprietários de imóveis, assim como disponibilizou um aplicativo para ajudar seus clientes a identificarem as cores corretas de suas tintas. A Akzonobel fornece um serviço semelhante na forma de aplicativos para as diversas áreas de demanda de suas tintas. Já a Covestro desenvolveu uma interface que permite aos clientes escolherem características de revestimentos para gerar uma solução personalizada e, recentemente, lançou sua plataforma de comércio digital B2B no Alibaba, assim como a Basf e a Solvay (BEACHAM, 2018).

A partir do estudo das iniciativas ligadas à Manufatura do Futuro das empresas químicas, percebe-se que a maior parte das empresas prefer investir em uma ou duas áreas de abordagem, com a planta digital sendo a área prioritária. A figura V.4 posiciona as empresas em relação às quatro abordagens. Nota-se que, até o momento, apenas duas empresas investiram em todas as áreas potenciais. Três empresas químicas adotaram três áreas de abordagem, enquanto sete empresas adotaram duas. Por fim, cinco empresas possuem iniciativas que abordam apenas uma área.

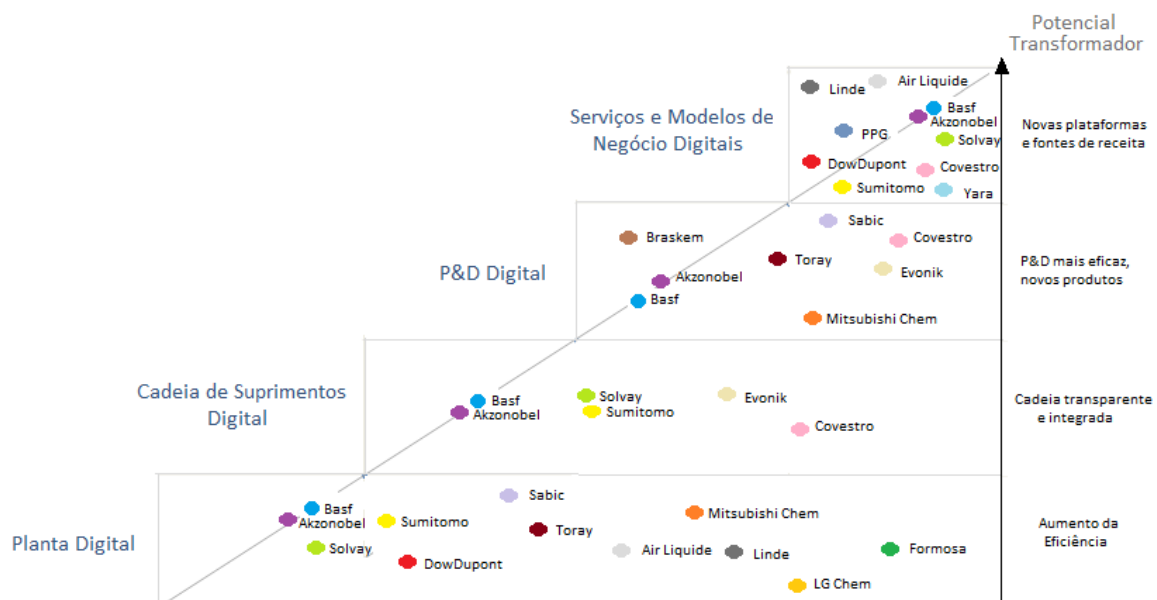


Figura V.4: Posicionamento das empresas químicas estudadas por abordagem.

Fonte: Elaboração Própria.

V.4. Comparação dos resultados

De acordo com Westerman *et al.* (2016), autores do estudo *Industry 4.0: Building the digital enterprise - Chemicals key findings* da PwC, independente do ritmo da transformação digital, as empresas químicas planejam investir 5% da receita anual em soluções de operações digitais nos próximos cinco anos. Esse estudo foi realizado com executivos de 222 empresas químicas de portes financeiros e setores de atuação variados, em 26 países. Eles afirmam também que 75% dos participantes da pesquisa esperam atingir níveis avançados de digitalização em um prazo de cinco anos. Esse valor é um dos mais altos entre os nove setores da indústria cobertos na pesquisa (aeroespacial, defesa e segurança; automotivo; químicos; eletrônicos; engenharia e construção; floresta, papel e embalagens; metais; fabricação industrial; transporte e logística).

Segundo Westerman *et al.* (2016), muitas empresas de produtos químicos já compreendem a importância vital da análise de dados. Três quintos dos entrevistados a consideram importante ou muito importante para suas empresas, subindo para 88% cinco anos à frente. A consultoria Accenture encontrou resultados semelhantes em uma pesquisa conduzida com 156 executivos da indústria química, em 2014, incluindo respondentes de petroquímicos, agroquímicos, tintas e revestimentos, plásticos e fibras, especialidades químicas e empresas de produtos químicos básicos e intermediários dos Estados Unidos, Alemanha, França, Áustria, Suíça, China, Emirados Árabes Unidos e Arábia Saudita. Segundo a pesquisa, os executivos consideram que o *big data* e *analytics* (72%) e a computação em nuvem (80%) tenham o maior potencial para o retorno do investimento geral da empresa (DELUSSEY e PANJWANI, 2014).

Em comum com outros setores, a digitalização avançada e a integração da cadeia de valor, com fornecedores, clientes e outros parceiros desta, está progredindo um pouco mais lentamente do que com a cadeia de valor vertical. Isso está de acordo com os resultados do presente estudo, visto que apenas uma menor parcela está investindo em integração digital da cadeia de suprimentos. Por outro lado, o estudo da PwC aponta que as empresas químicas parecem estar mais otimistas sobre sua taxa de adoção, com 73% esperando promover a digitalização avançada da cadeia de valor horizontal - a mais alta entre todos os nove setores industriais pesquisados e consideravelmente acima da média de 65% em todos os setores (WESTERMAN *et al.*, 2016).

Conforme visto na seção anterior, empresas como a BASF, a Sumitomo Chemicals e a Covestro afirmam que uma cadeia de suprimentos digital e integrada permitiria maior suporte na tomada de decisões. É um desafio real para muitas empresas que atualmente não têm total transparência sobre o inventário, a localização e a movimentação de produtos a montante e a jusante das operações ou sobre a demanda real dos clientes. Assim, uma maior transparência da situação de oferta e demanda pode ajudar a reduzir significativamente os custos ociosos na produção e no estoque, além de permitir que as empresas tenham maior transparência sobre a real utilização e eficiência de suas diferentes plantas em todo o mundo e os requisitos de capacidade futura (WESTERMAN *et al.*, 2016). A figura V.5 mostra o percentual de empresas químicas com alto nível de digitalização em 2016 e sua projeção para 2020.



Figura V.5: Nível de digitalização entre empresas químicas entrevistadas em 2016 e prospecção para 2020.

Fonte: Traduzido de Westerman *et al.*, 2016.

De acordo com Westerman *et al.* (2016), o avanço mais lento da digitalização e integração está nos modelos de negócios e nas estratégias de produtos e serviços das empresas de produtos químicos. Menos de um terço (32%) das empresas pesquisadas relata que estão avançadas agora, embora isso aumente para 62% em cinco anos. No entanto, em comum com outras indústrias de processo, como metais, isso fica aquém de muitos outros setores. Compara-se, por exemplo, com 64% em todos os setores pesquisados, 68% na

indústria de manufatura e 74% na indústria aeroespacial, defesa e segurança. Entretanto, tendo em vista as recentes iniciativas das empresas químicas de promover serviços e modelos de negócios digitais, existe a possibilidade de esses valores já estarem alterados.

A evolução da tecnologia e das práticas de negócios e as expectativas em mudança de clientes de empresas químicas estão rapidamente elevando o nível das práticas de B2B da indústria. Segundo Cabtree *et al.* (2015), em breve, as interações do comércio eletrônico na indústria de produtos químicos precisarão ser mais ricas, oferecer funcionalidade mais ampla e englobar o processo de ponta a ponta de venda de produtos - e elas precisarão ser mais focadas no cliente. De acordo com Spelman *et al.* (2017), ofertas e modelos de negócios habilitados digitalmente mostram o potencial mais alto de retorno do investimento, mas também o mais alto grau de incerteza, e podem valer entre US\$120 bilhões e US\$270 bilhões e gerar de 100.000 a 225.000 empregos. A figura V.6 mostra a porcentagem das empresas químicas que já estavam digitalizando seus portfólios e fornecendo soluções digitais para seus clientes em 2016, segundo Westerman *et al.* (2016).

Segundo Cabtree *et al.* (2015), todos os segmentos da indústria química podem se beneficiar dessa transformação. Os provedores de serviços se beneficiarão de soluções B2B que permitam a aproximação e melhor suporte ao cliente, e que permitam o desenvolvimento de serviços de excelência centrados no cliente. As empresas de especialidades químicas podem aproveitar o B2B de última geração para personalizar produtos e permitir que a equipe técnica de vendas colabore mais de perto com os clientes para moldar esses produtos. As empresas de commodities podem vincular processos voltados para o cliente com processos da cadeia de suprimentos para dar aos clientes maior transparência dos pedidos, fornecer garantia de entrega e encurtar os prazos. De fato, pôde-se perceber na análise das empresas químicas na seção anterior que muitas estão investindo em plataformas digitais de comércio, independente do setor de atuação.

Além disso, a pesquisa feita pela Accenture em parceria com a WEF com executivos de empresas químicas sobre comércio digital B2B mostra que 81% disseram que fornecer uma experiência personalizada ao cliente está entre as três principais prioridades da empresa e 60% estão vendo um retorno positivo do investimento da personalização (SPELMAN *et al.*, 2017). Adicionalmente, a pesquisa sinaliza o forte crescimento do comércio online B2B, apontando que 63% dos compradores B2B de 18 a 35 anos fizeram compras no Amazon Business (onde 40% fizeram compras frequentes) e que espera-se que o tamanho projetado

do mercado de comércio eletrônico B2B seja duas vezes maior que o de e-commerce B2C (business-to-consumer) até 2020, lembrando que atualmente o mercado B2B já é maior.

Ademais, uma pesquisa realizada pela McKinsey indica que 85% dos compradores de produtos químicos prefeririam usar um canal digital para comprá-los do que interagir com um vendedor (KLEI *et al.*, 2017). A partir das previsões das empresas de consultoria Accenture, PwC e McKinsey em conjunto com a análise das iniciativas das empresas químicas estudadas na seção anterior, parece seguro concluir que a criação de serviços e modelos de negócio digitais, além de soluções digitais personalizadas, será uma prioridade para as empresas químicas do mundo.

As receitas da digitalização do portfólio de produtos e serviços crescerão significativamente no futuro



Nota: Porcentagem dentre as empresas que atingem 10% ou mais de receita adicional nas seguintes áreas nos próximos 5 anos. Múltiplas respostas possíveis.

Figura V.6: Taxas de digitalização do portfólio e criação de serviços digitais voltados para os consumidores.

Fonte: Traduzido de Westerman *et al.*, 2016.

Com relação ao uso de *big data* e *analytics*, os resultados da análise de iniciativas apontam também alto nível de adoção destas tecnologias nas maiores empresas da indústria química com as mais diversas aplicações e objetivos. Em um relatório recente publicado pela Accenture (Countryman e Frandina, 2018), no qual foram consultados 360 executivos de empresas químicas em 12 países, quase metade dos executivos disse que a análise de dados

será o foco principal de seus investimentos digitais nos próximos três anos. Essa ênfase está de acordo com a opinião dos executivos de que a análise de dados oferece benefícios estratégicos e maior retorno do investimento potencial. Eles afirmam também que o uso de *analytics* é um primeiro passo lógico para empresas químicas. Por anos, as empresas químicas investiram em operações automatizadas, controles de processo, sensores e sistemas de dados em tempo real e agora podem explorar os dados que já possuem para agregar valor à empresa de maneira mais ágil.

A utilização de computação em nuvem, entretanto, apareceu menor escala, sendo mencionado por apenas oito das empresas químicas estudadas e também por aproximadamente um terço dos correspondentes no estudo da Accenture como uma tecnologia prioritária (COUNTRYMAN e FRANDINA, 2018). Isso poderia ser explicado por dois fatores. O primeiro é que a computação em nuvem muitas vezes funciona como tecnologia habilitadora para outras tecnologias e, por isso, acaba recebendo menos destaque. O outro fator é que algumas empresas ainda relutam em terceirizar suas plataformas e/ou migrar para serviços em nuvem por razões de segurança ou falta de confiança na maturidade da tecnologia. É provável que esse problema seja resolvido à medida que surjam mais provedores digitais, que os modelos de serviços se tornem mais comuns e que os fornecedores de plataformas comecem a padronizar e racionalizar suas ofertas.

Com relação à robótica, segundo Countryman e Frandina (2015), os executivos a vêem como tendo um papel estratégico principalmente na execução da produção, com um número significativamente menor de executivos citando a cadeia de suprimentos e gerenciamento de materiais. Essa descoberta é um tanto surpreendente, dado o uso generalizado de robôs nessas áreas. No entanto, esse ranking mais baixo provavelmente se deriva do fato de que o empacotamento e a movimentação de mercadorias no final da produção já foram automatizados significativamente nas empresas químicas. O papel mais proeminente da tecnologia na execução da produção é provavelmente baseado na disponibilidade de robôs avançados e mais novos, fáceis de programar, altamente versáteis e adequados para uso em áreas perigosas de instalações. Segundo a análise de iniciativas das empresas químicas, a robótica ainda é uma tecnologia menos explorada, principalmente devido ao nível de investimentos associado e, por isso, não deve ser adotada em grande escala no futuro próximo.

Por fim, em termos de quantificação dos benefícios da Manufatura do Futuro na indústria química, o valor econômico acumulado estimado para o período de 2016 a 2025 varia de aproximadamente US\$ 310 bilhões a US\$ 550 bilhões. Em benefícios não econômicos, a digitalização tem o potencial de reduzir as emissões de gás carbônico em 60-100 milhões de toneladas e evitar entre 2 mil e 3 mil feridos na próxima década (SPELMAN *et al.*, 2017). Westerman *et al.* (2016) fornecem também expectativas otimistas para a transformação digital da indústria química nos próximos cinco anos: 3,1% de aumento de receita ao ano e 4,2% de redução de custos ao ano. Countryman e Frandina (2018) afirmam que 95% dos correspondentes de empresas químicas conseguiram medir o valor financeiro das tecnologias digitais nas operações de suas fábricas e 76% disseram que viram uma melhoria de 5% a 15% nas operações devido à implantação de tecnologias digitais.

Apesar disso, a ausência de uma cultura digital e o treinamento correto foram identificados como o maior desafio das empresas químicas. Segundo Westerman *et al.*, (2016), mais da metade (52%) colocou essa questão entre seus três principais desafios, embora a mudança da cultura tenha sido um problema em todos os nove setores pesquisados. Ademais, 56% das empresas se preocupam com o nível de investimento necessário, 47% mencionaram a falta de uma clara visão de operações digitais e apoio/liderança da alta administração e 32% tiveram dificuldade em ver os benefícios econômico dos investimentos em tecnologias digitais. Em menor escala, problemas como questões não resolvidas sobre segurança de dados e privacidade de dados em conexão com o uso de dados externos (26%), falta de padrões digitais, normas e certificação (23%) e talentos insuficientes (17%) também foram mencionados.

De acordo com Frandina *et al.* (2015), muitas empresas químicas se preocupam com os riscos de implementar e operar novas tecnologias. Muitas vezes, as empresas percebem que precisam colocar tecnologias e infraestrutura capacitadoras - que não proporcionam retorno imediato - antes de embarcar em uma iniciativa de planta digital em grande escala. Além disso, eles afirmam que muitos na indústria ainda sustentam que, quanto mais tecnologia na fábrica, maiores as chances de se gerar problemas. Segundo Countryman e Frandina (2018), os executivos da indústria química consideram que os dois principais riscos são problemas de confiabilidade operacional e conseqüências comerciais, como perda de produção ou dificuldades de fornecimento aos clientes, seguidos por questões de violação de dados, como perda de propriedade intelectual ou informações do cliente.

VI. Conclusão

Desde o surgimento do tema “Indústria 4.0” em 2011, diversos setores industriais têm sido afetados pela transformação digital que caracteriza o começo da Quarta Revolução Industrial. No decorrer deste trabalho, pode-se perceber que a indústria química não é exceção. Pelo contrário, ela ocupa um papel fundamental como fornecedora de materiais avançados que suportam essa revolução e, ao mesmo tempo, é um dos setores que pode obter ganhos significativos com o uso das tecnologias digitais habilitadoras. A partir de tudo que foi discutido neste estudo, pode-se fazer uma análise da implementação da Manufatura do Futuro entre as maiores empresas químicas do mundo até o presente momento.

Observou-se que a Manufatura do Futuro tem sido definida como uma prioridade pelos governos das nações mais industrializadas do mundo, que já lançaram iniciativas com suporte de capital público para promover a transformação digital em suas indústrias. Embora o foco dos investimentos varie entre os países, todos visam obter vantagens competitivas e combater os seus desafios sócio-econômicos específicos. Apesar de os países mais desenvolvidos estarem em uma posição favorável devido à maturidade de suas indústrias, a digitalização pode ser uma oportunidade muito valiosa para países emergentes como a China ou o Brasil mudarem suas posições competitivas na economia global. Tudo isso significa que o momento atual é extremamente propício para o desenvolvimento e a implementação de projetos que empreguem as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Pelo que pode ser observado nas empresas estudadas, as maiores prioridades das empresas químicas são a excelência operacional, o gerenciamento preciso da produção e a garantia da segurança de seus funcionários. Isso é refletido em um nível sofisticado de controle e automação que visa minimizar riscos de segurança e incidentes de qualidade. Entretanto, as tecnologias digitais atuais vão muito além dos sistemas tradicionais de controle. As possibilidades incluem desde a melhoria dos princípios básicos, como aprimoramento de procedimentos de segurança ou digitalização de processos manuais e em papel, até a implementação de recursos avançados, como sistemas móveis que permitem que os operadores de campo tomem decisões melhores e mais oportunas, ou análises de dados para dar suporte a manutenção preditiva e gerenciamento de recursos.

Portanto, as tecnologias digitais podem trazer mais do que melhorias incrementais para as operações, conforme visto no decorrer deste estudo. Elas têm o potencial de transformar fábricas, possibilitar alto nível de excelência operacional e alterar o cenário competitivo do setor. Em todos os relatórios de empresas de consultoria analisados, prevê-se que as empresas químicas precisarão fazer da planta digital uma parte integrante das operações nos próximos anos para não perder competitividade. Essa tendência foi confirmada por grande parte das empresas químicas estudadas neste trabalho, que adotaram a abordagem da planta digital da Indústria 4.0.

Algumas empresas - como a alemã Basf ou a holandesa Akzonobel - estão se colocando em posições de liderança para a Manufatura do Futuro através de iniciativas em todas as quatro áreas de abordagem consideradas (Planta Digital, P&D Digital, Cadeia de Suprimentos Digital, Serviços e Modelos de Negócios Digitais). Por outro lado, empresas de grande porte como a LyondellBasell e a Ineos ainda não divulgaram muitas iniciativas de transformação digital até o momento, destoando das demais empresas químicas estudadas. Tendo em conta as quatro áreas de abordagem da Manufatura do Futuro na cadeia produtiva, verificou-se uma grande diversidade entre as empresas, com algumas concentrando suas iniciativas em uma única área e outras atuando de forma mais abrangente. Percebe-se, no entanto, uma maior tendência de atuar de forma concentrada em única área, com apenas duas abrangendo as quatro áreas estudadas.

Sendo assim, percebe-se que a maior parte das empresas químicas está implementando tecnologias digitais que proporcionem o melhor retorno do investimento em vez de se posicionar como líder na transformação digital. A maioria das empresas químicas estudadas deu preferência para investir em tecnologias digitais que favoreçam a redução de custos operacionais e o aumento da eficiência em suas plantas. Surpreendentemente, a segunda maior área de adoção foi a de Serviços e Modelos de Negócios Digitais. A escolha da P&D Digital foi motivada, principalmente, pela produção de materiais avançados ou para a manufatura aditiva. Por fim, a abordagem da Cadeia de Suprimentos Digital foi a menos adotada, não obstante seu potencial de melhorar a previsão da demanda e o planejamento da produção, fatores críticos para a indústria química.

Embora o nível atual de maturidade de algumas das tecnologias habilitadoras seja ainda considerado um revés indústria química e também seja necessária uma mudança de

cultura em muitas empresas para progredir com maior facilidade na Manufatura do Futuro, a adoção das tecnologias digitais foi considerável. A Internet das Coisas é a tecnologia base da transformação e suas soluções estiveram presentes em todas as empresas estudadas. Destacou-se também o uso de *big data* e *analytics* pela maioria das empresas. Computação em nuvem, manufatura aditiva e inteligência artificial foram o foco de iniciativas digitais em pouco menos que a metade das empresas. Já os sistemas ciberfísicos e a robótica foram os menos citados, sendo as causas dessa menor adoção explicadas no capítulo cinco.

As iniciativas ligadas à Manufatura do Futuro nas empresas químicas variam também em relação à forma de abordagem, com algumas empresas investindo em parcerias com grandes líderes digitais enquanto outras optam por realizar o processo de transformação digital internamente. As parcerias da DowDupont e da Evonik com a IBM, da Formosa Plastics com a Intel e da Sabic e da Solvay com a Siemens são algumas dentre as observadas neste estudo. Elas estão principalmente ligadas à abordagem da planta digital, sendo as empresas externas fornecedoras de plataformas de computação em nuvem ou de sistemas de controle digital mais avançados, por exemplo. É provável que o número de parcerias do tipo aumente nos próximos anos, dado o foco das empresas químicas no aumento de eficiência operacional.

Longe de serem retardatários na adoção da Indústria 4.0, as empresas químicas estão adotando-a em um ritmo crescente. Conforme o retorno dos investimentos digitais vai sendo comprovado, mais empresas se mostram dispostas a apostar nas tecnologias habilitadoras, principalmente aquelas ligadas à excelência operacional ou ao relacionamento com os clientes. Atualmente, já existe uma competitividade considerável na parte de serviços digitais e a empresa química que não disponibilizar ferramentas complementares para seus clientes corre o risco de perder mercado para seus concorrentes. É notável o maior foco em melhorar a experiência do cliente e atender às suas necessidades de maneira superior, sendo essa uma tendência que deve continuar se fortalecendo nos próximos anos.

Considerando-se as análises feitas ao longo desse estudo, fica evidente que a maioria das empresas químicas estudadas está investindo nas tecnologias da Manufatura do Futuro, porém com uma abordagem ainda conservadora. Por outro lado, uma menor parte dentre as empresas estudadas parece já estar aproveitando o potencial transformador da

Indústria 4.0 para criar novos produtos, novos serviços e novas fontes de receita. Sendo assim, percebe-se dois cenários possíveis para o longo prazo. Um deles seria que as empresas químicas continuem investindo prioritariamente no uso de tecnologias digitais para melhoria de estruturas já existentes, como na planta digital. O segundo seria que esse processo de transformação digital fosse intensificado e levasse a grandes transformações, implementando um uso intenso de manufatura aditiva, robótica, inteligência artificial e com um maior desenvolvimento de produtos inteligentes e inovadores, por exemplo.

Por fim, é importante ressaltar que a indústria química, assim como seus produtos, é muito diversificada. Neste trabalho, as empresas químicas estudadas estão dentre as maiores do mundo, com um volume de vendas de químicos mínimo de 11.6 bilhões de dólares em 2016¹⁷. Isso significa que as conclusões obtidas nesse trabalho não se aplicariam necessariamente para empresas de menor porte (PMEs), principalmente pelo fato de algumas das tecnologias habilitadoras da Manufatura do Futuro demandarem um nível de investimento significativo. Ademais, as informações utilizadas nesse estudo foram provenientes de dados secundários. Sendo assim, é possível que as empresas químicas estejam fazendo além ou aquém do que foi divulgado nas suas iniciativas relacionadas à Indústria 4.0.

¹⁷ Faturamento aproximado da venda de produtos químicos da Yara, última empresa química estudada, segundo Tullo (2017).

Referências Bibliográficas

Abiquim, 2018 - Após três anos de queda, déficit em produtos químicos avança 6,5% em 2017 e totaliza US\$23,4 bilhões. Disponível em <https://abiquim.org.br/comunicacao/noticia/4084>, acessado em 20.03.2018.

Al-Saffar Y., Aldraihem O., Baz A., 2012 - Smart paint sensor for monitoring structural vibrations, *Smart Materials and Structures* 21, no. 4 (2012), DOI:10.1088/0964-1726/21/4/045004.

Althaus M., Matos I., Dutschmann J., Sharma A. M., Wilken O., Germany Trade & Invest Fact Sheet, 2018 – The Digital Economy in Germany.

Altman J., Edgar G., 2016 - PPG PAINTS Brand Launches Preferred Homeowner Portal, Offers Paint Discounts to New-Home Buyers. PPG Press Release.

Angerbauer R., 2016 - Process digitalization: The Solvay/Butachimie chemical platform in Chalampe. Disponível em <https://blogs.siemens.com/en/mediaservice-industries-blog.entry.html/27690-process-digitalization-the-solvay-butachimie-chemical-platform-in-chalampe.html>, acessado em 06.04.2018.

Associação Brasileira de Internet Industrial, 2017 - Industrial Internet Consortium e Associação Brasileira de Internet Industrial Anunciam Aliança. Disponível em <https://www.abii.com.br/single-post/2017/10/13/Industrial-Internet-Consortium-e-Associa%C3%A7%C3%A3o-Brasileira-de-Internet-Industrial-Anunciam-Alian%C3%A7a>, acessado em 20.03.2018.

Baker J., 2017 - Back to Basics for R&D. Disponível em <https://chemical-materials.elsevier.com/chemicals-industry-news-and-analysis/basics-rd/>, acessado em 12.03.2018.

Baller S., Dutta S., Lanvin B., 2016 - The Global Information Technology Report 2016: Innovating in the Digital Economy. World Economic Forum (WEF).

Banker S., 2013 - Dow Chemical's Distribution and Transportation Risk Management Program, *Logistics Viewpoints*, 20 May 2013.

Barbosa R., 2017 – “Made in China 2025”. O Estado de S.Paulo, 28/03/2017. Disponível em <http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,made-in-china-em-2025,70001716537>, acessado em 10.03.2018.

Barton D., Court D., 2012 - Making advanced analytics work for you. Harvard Business Review 2012;90(10):78–83,128

Bassi A., Horn G., 2008 - Internet of Things in 2020, Roadmap for the Future. INFSO D.4 Networked Enterprise & RFID INFSO G.2 Micro & Nanosystems, in: Co-operation with the Working Group RFID of the ETP EPOSS, , Version 1.1, 2008.

Bauernhansl T., 2014 - Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, p. 3-35. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologie, Migration

Baweja B., Donovan P., Haefele M., Siddiqi L., Smiles S., 2016 - Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution. UBS White Paper for the World Economic Forum Annual Meeting, 2016.

Beacham W., 2018 - Alibaba for chemicals as Covestro, BASF sign up. ICIS Chemical Business. Disponível em <https://www.icis.com/resources/news/2018/04/26/10215762/alibaba-for-chemicals-as-covestro-basf-sign-up/>, acessado em 01.05.2018.

Beulke, D., 2011 - Big Data Impacts Data Management: The 5 Vs of Big Data.

Bhattacharjee N., 2018 - DowDuPont's Andrew Liveris steps down, names CEO for new Dow. Disponível em <https://www.reuters.com/article/us-dowdupont-management/dowduponts-andrew-liveris-steps-down-names-ceo-for-new-dow-idUSKCN1GO0BI>, acessado em 15.04.2018.

Bi Z, Xu LD, Wang C., 2014 - Internet of Things for enterprise systems of modern manufacturing. IEEE Trans Ind Inform 2014;10(2):1537–46

Block F., 2017 - A Strategy for Rebuilding the Manufacturing Sector in the United States. The Century Foundation, 2017. Disponível em <https://tcf.org/content/report/strategy-rebuilding-manufacturing-sector-united-states/>, acessado em 07.03.2018.

Breene K., 2016 - Why is Japan's economy shrinking? WEF Article. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2016/02/why-is-japans-economy-shrinking>, acessado em 10.03.2018.

Brugier C., des Royeries C., 2018 - Air Liquide continues its digital transformation with the opening of a new remote operation center in Southeast Asia. Air Liquide Press Release, Disponível em <https://www.airliquide.com/media/air-liquide-continues-digital-transformation-opening-new-remote-operation-center-southeast-asia>, acessado em 13.04.2018.

Bush S., 2018 - Smart IoT valve allows remote gas cylinder management. Electronics Weekly Article. Disponível em <https://www.electronicsworld.com/news/design/communications/smart-iot-valve-allows-remote-gas-cylinder-management-2018-01/>, acessado em 01.05.2018.

Buxmann P., T. Hess and R. Ruggaber, 2009 - Internet of Services. Business & Information Systems Engineering 5, 341 – 342.

Caballer M., Alfonso C., Moltó G., Romero E., Blanquer I., García A., 2014 - The journal of systems and software codecloud: A platform to enable execution of programming models on the clouds. J. Syst. Softw. 93 (2014), 187–198.

Cabtree S., Debrabander F., Delussey E., Holsman P., 2015 - The Chemicals Industry: Getting Ready for Next-Generation B2B. Accenture Article.

Cartage T., 2017 - Asking More from Chemistry Thanks to Digital. Internet of Manufacturing Munich, Germany, 7-8 February 2017.

Casarin R., 2018 - Falta de investimento limita expansão da indústria química no longo prazo. DCI, Diário Comércio Indústria & Serviços. Disponível em <https://www.dci.com.br/industria/falta-de-investimento-limita-expans-o-da-industria->

quimica-no-longo-prazo-1.686914, acessado em 02.04.2018.

Castro J. R., 2016 – As commodities e seu impacto na economia do Brasil. Disponível em <https://www.nexojournal.com.br/explicado/2016/03/31/As-commodities-e-seu-impacto-na-economia-do-Brasil#o-que-so-commodities>, acessado em 25.03.2018.

Caudet L., Vandystadt N., Fougner A., Frenay M., European Commission Press Release, 2016 – European Cloud Initiative to give Europe a global lead in the data-driven economy.

Challener C., 2018 - The Paint and Coatings Industry in the Age of Digitalization. CoatingsTech | Vol. 15, No. 3 | March 2018.

Charles J., Slaets P., Cimorra A., Valerica Dragomir V., Rognone T., Pols A., Fier A., Mueller W., Perera D., Eleftheriadou D., Zörényi B., Armengol-Torío A., Sirros Y., Vassiliadou M., Muckly P., Rivière L., 2017 – ICT Market Report 2017/2018. European IT Observatory.

Cockerill R., 2016 - 3D printing: Air Liquide initiates FAIR project to develop French additive manufacturing sector. Disponível em <https://www.gasworld.com/air-liquide-initiates-fair-project/2010603.article>, acessado em 12.03.2018.

Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2016 - Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Brasília: CNI, 2016. 34 p. : il.

Court D., 2015 - Getting big impact from big data. McKinsey Quarterly, 1, p. 53-60.

Crottaz A., 2014 - “Painting a Better Picture of Demand: AkzoNobel Turns to Terra Technology (E2OPEN) to Cut Excess Inventory and Improve Customer Service,” Disponível em <https://www.e2open.com/resources/akzonobel-painting-a-better-picture-of-demand>, acessado em 10.03.2018.

Darkow, I., von der Gracht, H., 2013 - Scenarios for the future of the European process industry: the case of the chemical industry. European Journal of Futures Research 1, 1, 1–12.

Daudt G., Willcox L. D., 2017 - Reflexões críticas a partir de experiências dos

Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. Indústria da Transformação, BNDES Setorial 44, p. 5-45.

Delussey E., Panjwani M., 2014 - Accenture Global Digital Chemicals Survey. Accenture Digital.

Diab W., 2017 - Overview of IIC and Industrial Analytics: Fueling the IIoT Revolution. METI Press, 2017. Disponível em <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171201005/20171201005e.pdf>, acessado em 22.03.2018.

Dong-cheol S., Kim M., 2018 - LG manufacturing lines go smart on LG CNS's AI-driven platform. Pulse by Maeil Business News Korea. Disponível em <http://pulsenews.co.kr/view.php?sc=30800028&year=2018&no=215319>, acessado em 02.05.2018.

Drath R., Horch A., 2014 - Industrie 4.0: hit or hype?, p. 2 - IEEE Industrial Electronics Magazine 01/2014; 8(2):56-58, 2014.

European Commission, 2017 - What is Horizon 2020?. Disponível em <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>, acessado em 10.03.2018.

European Commission, 2016 - Digitising European Industry Reaping the Full Benefits of a Digital Single Market, EC. Brussels, 19.4.2016 COM(2016) 180 final

Evans P. C., Annunziata M., 2012 - Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines, p.3. Disponível em http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf, acessado em 19.12.2017.

Fonseca R., Gonçalves J., Cunha S., Campos R., Perne T., Gadêlha C., 2016 - Sondagem Especial Indústria 4.0. Confederação Nacional da Indústria (CNI), ISSN 2317-7330, Ano 17, número 2, abril de 2016.

Fontes S., 2016 - Parceria com Nasa abre novo nicho ao plástico da Braskem. Valor Econômico. Disponível em <http://www.valor.com.br/empresas/4778249/parceria-com-nasa-abre-novo-nicho-ao-plastico-da-braskem>, acessado em 10.04.2018.

Fraga N., 2017 - Embalagem desenvolvida pela Braskem detecta se alimento está impróprio para o consumo. Época Negócios. Disponível em <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2017/11/embalagem-desenvolvida-pela-braskem-detecta-se-alimento-esta-improprio-para-o-consumo.html>, acessado em 10.04.2018.

Frantina P., Bjacek P., Clos R., 2015 - Chemical Industry The Digital Plant: Reaping the Rewards of Disruption. Accenture Study.

Fraunhofer-Gesellschaft Annual Report, 2016. Disponível em <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/Publications/Annual-Report/fraunhofer-annual-report-2016.pdf>, acessado em 05.03.2018.

Gausemeier J., Klocke F., Dülme C., Eckelt D., Kabasci P., Kohlhuber M., Schön N., Schröder S., 2016 - Industrie 4.0: International Benchmark, Options for the Future and Recommendations for Manufacturing Research (ACATECH project).

Gerbert P., Lorenz M., Rüßmann M., Waldnerdan M., Justus J., Engel P., e Harnisch M. (BCG), 2015 - Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries.

GE Digital, 2017 - Toray Plastics (America), Inc. Optimizes Manufacturing Operational Performance with Big Data Analytics. GE Digital Customer's Stories, 04/2017. Disponível em <https://www.ge.com/digital/sites/default/files/toray-plastics-optimizes-manufacturing-operational-performance-with-big-data-analytics-customer-story.pdf>, acessado em 22.03.2018.

Giusto, D., A. Iera, G. Morabito and L. Atzori, eds., 2010 - The Internet of Things, Springer, 2010. ISBN: 978-1-4419-1673-0.

Grozev N., Buyya R., 2014 - Inter-cloud architectures and application brokering: Taxonomy and survey. Softw. Pract. Exp. 44, 3 (2014), 369–390

Gubán M., Kovács G., 2017 -Industry 4.0 Conception. ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering Tome X [2017] Fascicule 1 [January – March] ISSN: 2067 – 3809

Guszcza J., Maddirala N., 2016 - Minds and Machines: The art of forecasting in the age of artificial intelligence – Deloitte Reviews, Complimentary article reprint, Issue 19 | 2016.

Hagn T., 2017 - We have to use our data creatively. Linde Group Press Release, April 2017.

Hammond K., 2015 - Why artificial intelligence is succeeding: Then and now. Computerworld, September 14, 2015. Disponível em www.computerworld.com/article/2982482/emerging-technology/why-artificialintelligence-is-succeeding-then-and-now.html, acessado em 12.03.2018.

Harding V., 2015 - Northwest Analytics and Dow Chemical Share in Innovation Prize: Win 2015 Golden Mousetrap Award. Northwest Analytics Press Release.

Hartmann B., King W., Narayanan S., 2015 - Digital manufacturing: The revolution will be virtualized, McKinsey Global Article, August 2015.

Hayakawa K., Shiino K., 2018 - Singapore as Location of Choice as Regional Headquarters for Japanese MNEs: Strengths and Challenges. ISEAS Perspective. Disponível em https://www.iseas.edu.sg/images/pdf/ISEAS_Perspective_2018_15@50.pdf, acessado em 19.03.2018.

Haydon D., 2017 - OUTLOOK '18 US chemical industry experiencing renaissance. ICIS News. Disponível em <https://www.icis.com/resources/news/2017/12/28/10177287/outlook-18-us-chemical-industry-experiencing-renaissance/>, acessado em 25.02.2018.

Healy R., 2017 - The dawn of the digital era: Linde discusses new digitalisation concepts. Disponível em <https://www.gasworld.com/interview-linde-and-the-dawn-of-the-digital-era/2012834.article>, acessado em 19.04.2018.

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., 2015 - Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, Technische Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management.

High P., 2018 - Dow CIO Melanie Kalmar Has One Of The Most Complex Jobs In IT. Forbes Interview. Disponível em <https://www.forbes.com/sites/peterhigh/2018/02/12/dow-cio-melanie-kalmar-has-one-of-the-most-complex-jobs-in-it/8/>, acessado em 02.04.2018.

Hindle T., 2008 – The Economist Guide to Management Ideas and Gurus. The Economist Newspaper Ltd, 2008. Published by Profile Books Ltd.

Hou F., Wang A., Wu T., 2017 - A digital upgrade for Chinese manufacturing. McKinsey Quarterly. Disponível em <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/a-digital-upgrade-for-chinese-manufacturing>, acessado em 25.03.2018.

Howard C., 2013 - Disruption Vs. Innovation: What's The Difference?. Forbes, 2013. Disponível em <https://www.forbes.com/sites/carolinehoward/2013/03/27/you-say-innovator-i-say-disruptor-whats-the-difference/#6285dcf66f43>, acessado em 13.05.2018.

Huang GQ, Zhang YF, Chen X., Newman ST., 2008 - RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control. J Intell Manuf 2008;19(6):701–13.

Huang J., Wang F., 2015 – Intel and IoT Ecosystem in Taiwan Deliver Solutions for Better Business and a Better Life. Intel News Fact Sheet, 2015.

IBGE, 2018 - Produção industrial cresce 2,8% em dezembro e fecha 2017 com alta de 2,5%. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/19834-producao-industrial-cresce-2-8-em-dezembro-e-fecha-2017-com-alta-de-2-5.html>, acessado em 20.04.2018.

IBM Company Annual Report, 2013. Disponível em https://www.ibm.com/annualreport/2013/bin/assets/2013_ibm_annual.pdf, acessado em 05.01.2018.

Industrial Internet Consortium, 2013 - Fact Sheet. Acessado em http://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf, acessado em 19.12.2017.

Ishii K., Kawayama L., 2018 – Fujitsu Case Study of Implementation: Sumitomo

Chemical Co., Ltd. Disponível em <http://www.fujitsu.com/jp/services/application-services/enterprise-applications/sap/case-studies/en/sumitomo-chem/>, acessado em 30.03.2018.

Japan Chemical Industry Association, 2018 – Chemical Industry of Japan 2017. Disponível em <https://www.nikkakyo.org/sites/default/files/2017%20CHEMICAL%20INDUSTRY%20OF%20JAPAN%20IN%20GRAPHS.pdf>, acessado em 20.04.2018.

Jules A., 2006 - RFID security and privacy: a research survey, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 24 (2) (2006) 381–394.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., 2013 - Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Acatech Report, Germany.

Kagermann H., Anderl R., Gausemeier J., Schuh G., Wahlster W., 2016 - Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag 2016

Karsten J., 2017 - Trump administration brings a different approach to manufacturing. Disponível em <https://www.brookings.edu/blog/techtank/2017/07/14/trump-administration-brings-a-different-approach-to-manufacturing/>, acessado em 15.03.2018.

Katyal M., Mishra A., 2013 - A Comparative Study of Load Balancing Algorithms in Cloud Computing Environment, International Journal of Distributed and Cloud Computing Volume 1 Issue 2 December 2013.

Kaur K., Sharma S., Kahlon K., 2017 - Interoperability and Portability Approaches in Inter-Connected Clouds: A Review, ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 50 Issue 4, November 2017, Article No. 49.

Keller A., Belderok A., Douma E., Kunher S., 2015 - CHEMICALS 2035 GEARING UP FOR GROWTH: How Europe's chemical industry can gain traction in a tougher world. Roland Berger Strategy Consultants.

Klei A., Moder M., Stockdale O., Weihe U., Winkler G., 2017 - Digital in chemicals:

From technology to impact, acessado em <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/digital-in-chemicals-from-technology-to-impact>, acessado em 22.02.2018.

Klein J., 2018 - Yara eleva aportes em Rio Grande para R\$ 1,5 bilhão - Jornal do Comércio. Disponível em <http://jcrs.uol.com.br/conteudo/2018/03/economia/616559-yara-eleva-aportes-em-rio-grande-para-r-1-5-bilhao.html>, acessado em 02.04.2018.

Khajeh-Hosseini A, Greenwood D, Sommerville I., 2010 - Cloud migration: A case study of migrating an enterprise IT system to IaaS. In: Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Cloud Computing; 2010 Jul 5–10; Miami, FL, USA. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2010. p. 450–7

Koenig B., 2015 - SABIC Uses 3D Printing for Prototype Truck Roof Fairing. Advanced Manufacturing Media – SME. Disponível em <https://advancedmanufacturing.org/sabic-uses-3d-printing-prototype-truck-roof-fairing/>, acessado em 01.04.2018.

Kottmann H., 2016 - Managing growth and profitability in the chemical industry. Journal Business of Chemistry, issue 10/2016.

Laird K., 2017 - Understanding the digital transformation called Industry 4.0: Manufacturing today requires more brain than brawn. *Plastics Engineering*. 73.1 (Jan. 2017): p24+

Lee E. A., 2008 - Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 363 – 369.

Lee J., Lapira E., Bagheri B., Kao H., 2013 - Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manuf Lett* 2013;1(1):38–41.

Lee J., Bagheri, B., Kao H., 2015 - A cyberphysical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, p. 18-23.

Lee T., 2016 - Toray 'health service' to use sensor fabrics. Disponível em <https://www.tevonews.com/fibres-yarns-news/211-toray-health-service-to-use-sensor->

fabrics, acessado em 30.03.2018.

Leker J., Utikal H., 2016 - The focus of the Journal of Business Chemistry: Good management practices in the chemical industry. Journal of Business Chemistry, issue 10/2016.

Lindstorm A., 2012 - "Selective laser sintering, birth of an industry". The University of Texas at Austin News.

Longo F., Nicoletti L., Padovano A., 2017 - Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. Computers & Industrial Engineering 113 (2017) 144–159.

Lozowski D., 2017 - The digital transformation in the CPI. Chemical Engineering White Paper, Disponível em <http://www.chemengonline.com/digital-transformation-cpi/>, acessado em 31.02.2018.

Lu B. H., Bateman R. J., Cheng K., 2006 - RFID enabled manufacturing: Fundamentals, methodology and applications. Int J Agile Syst Manage 2006;1(1):73–92.

MacDougall W., Germany Trade & Invest, 2014 - Industry 4.0: Smart Manufacturing for the Future. July 2014.

Magretta J., 2012 - Why Business Models Matter. Harvard Business Review. Disponível em <https://hbr.org/2002/05/why-business-models-matter>, acessado em 20.03.2018.

Maguluri S.T., Srikant R., Ying L., 2012 - Stochastic models of load balancing and scheduling in cloud computing clusters. In: Proceedings of 2012 IEEE INFOCOM; 2012 Mar 25–30; Orlando, FL, USA. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2012. p. 702–10

Manyika J., Chui M., Brown B., Bughin J., Dobbs R., Roxburgh C., 2011 - Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. New York: McKinsey Global Institute; 2011.

Marchese K., Joyce J., Gorham R., Sniderman B., Passaretti M., 2013 - The 3D

opportunity primer: The basics of additive manufacturing. A Deloitte series on additive manufacturing.

Mari A., 2016 - How a Digital Office feeds business appetite for disruptive innovation. Disponível em <https://www.i-cio.com/strategy/digitalization/item/how-a-digital-office-supports-the-business-s-appetite-for-disruptive-innovation>, acessado em 20.01.2018.

Martin C., Samans R., Leurent H., Betti F., Drzeniek-Hanouz M., Geiger T., Aurik J., Zuazua M., Schulz O., Blaylock A., 2018 - Readiness for the Future of Production Report 2018. World Economic Forum.

Mell P., Grance T., 2011 - The NIST definition of cloud computing. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

Ministry of Economy, Trade and industry (METI), 2015 - Summary of the White Paper on Manufacturing Industries (Monodzukuri), June 2015.

Ministry of Economy, Trade and industry (METI), 2017 – Connected Industries. Disponível em http://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html, acessado em 10.04.2018.

Mitsubishi Chemicals Holding Group, 2017 – The Kaiteki Annual Report 2017.

Manyika J, Sinclair J., Dobbs R., Strube G., Rasse L., Mischke J., Remes J., Roxburgh C., George K., O'Halloran D., Ramaswamy S., 2012 - Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation. McKinsey Global Institute e McKinsey Operations Practice, 2012:.. McKinsey & Company Report, November 2012.

Milmo S., 2017 – PPG Highlights New Innovations for OEM Coatings at European Technical Center. Disponível em https://www.coatingsworld.com/issues/2017-09-01/view_europe-reports/ppg-highlights-new-innovations-for-oem-coatings-at-european-technical-center, acessado em 30.03.2018.

Moreno-Vozmediano R., Montero R. S., Llorente I. M., 2013 - Key challenges in

cloud computing: Enabling the future internet of services. *IEEE Internet Comput* 2013;17(4):18–25.

Jordan M., Carley K., Coifman R., Crichton D., Franklin M., Gilbert A., Gray A., Hastie T., Indyk P., Johnson T., Lambert D., Madigan D., Mahoney M., Maley F., Olston C., Singer Y., Szalay A., Zhang T., 2013 - National Research Council, *Frontiers in Massive Data Analysis*, National Academies Press.

Netzer F., 2017 - Digitalization of the chemical industry. *Journal of Business Chemistry*, Issue 06-2017.

Newell J., 2016 - DAQ in Industry 4.0 - Environmental Engineering DAO & Sensors, 2016.

Nunes M., Pereira A., Alves A. 2017 - Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, 2017, Pages 1215-1222. Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain.

O'Donovan P., Leahy K., Bruton K. e O'Sullivan D., 2015 - Big data in manufacturing: a systematic mapping study. *Journal of Big Data*, 2015.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2015 - Enabling The Next Production Revolution: Issues Paper. Background document prepared for the Danish Production Council conference "Shaping the Strategy for Tomorrow's Production" Paris, 26 27 March 2015.

OECD, 2017 - Industrial upgrading for green growth in China - Thematic focus on environment: key findings and recommendations. June, 2017.

O'Sullivan E., Antonio Andreoni A., Carlos López-Gómez C., Gregory M., 2013 - What is new in the new industrial policy? A manufacturing systems perspective. *Oxford Review of Economic Policy*.

Ottewell S., 2014 - Simulation Saves Energy. *Chemical Processing* article, Disponible em <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2014/simulation-saves-energy/>,

acessado em 31.03.2018.

Owen-Jones J., 2017 - Linde Gases enhances welding management service. Disponível em <https://www.gasworld.com/linde-enhances-welding-management-service/2013449.article>, acessado em 12.04.2018.

Owen-Jones J., 2018 - Linde's Asia Pacific Digitalisation Hub. Disponível em <https://www.gasworld.com/lindes-asia-pacific-digitalisation-hub/2014160.article>, acessado em 12.04.2018.

Pang, Z., Zhengb, L., Tianb, J., Walterc-Kao, S., Dubrovab, E., Chen Q., 2015 - Design of a terminal solution for integration of in-home health care devices and services towards the Internet-of-things. Enterprise Information Systems, 9, 86-116.

Parisi G., Dirk N., 2015 - 4.0 INDUSTRY IN SABIC. Sabic Presentation. Disponível em https://www.unito.it/sites/default/files/giacomo_parisi_sabic.pdf, acessado em 05.04.2018.

Pathak K., 2016 - RIL, GE in partnership to deploy industrial IoT. Disponível em <https://www.livemint.com/Companies/Q21akkeU5ekGwAq0ZSfmuK/RIL-GE-in-partnership-to-deploy-industrial-IoT.html>, acessado em 22.03.2018.

Pereira D., Schatsky D., Sallomi P., Dalton R., 2015 - Cognitive technologies in the technology sector: From science fiction vision to real-world value, Deloitte Insights, DUP. December 15, 2015.

President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), 2014 - Report To The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing. Executive Office of the President, October 2014.

President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), 2014 - Big Data And Privacy: A Technological Perspective. Executive Office of the President, May 2014.

President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), 2015 - Report To The President And Congress Ensuring Leadership In Federally Funded Research And

Development In Information Technology. Executive Office of the President, 08/2015.

Pritesh, J., Dheeraj, R., Shyam, P., 2011: “A Survey and Analysis of Cloud Model-Based Security for Computing Secure Cloud Bursting and Aggregation in Renal Environment”, IEEE.

Randles M., Lamb D., Taleb-Bendiab A., 2010: A comparative study into distributed load balancing algorithms for cloud computing. In: Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops; 2010 Apr 20–23; Perth, Australia. Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2010. p. 551–6.

Rittershaus P., 2016: Fostering start-ups in the chemical sector through the joint support offered by seed funds and established companies. Journal of Business Chemistry, issue 06/2016.

Rizzo J, 2018 – Você sabe o que é um testbed?. Disponível em <https://www.abii.com.br/single-post/2018/02/26/Voc%C3%AA-sabe-o-que-%C3%A9-um-testbed>, acessado em 02.05.2018.

Robert Blackburn *et al.*, 2015: “A predictive analytics approach for demand forecasting in the process industry,” International Transactions in Operational Research 22, no. 3 (2015): pp. 407–28, DOI:10.1111/itor.12122

Roblek V., Meško M., Krapež A., 2016: A Complex View of Industry 4.0 – SAGE Open, April-June 2016: 1–11.

Rojko A., 2017 - Industry 4.0 Concept: Background and Overview. ECPE European Center for Power Electronics e.V., Nuremberg, Germany.

Sampson J., 2018 – Linde to showcase at RAPID + TCT 2018. Disponível em <https://www.gasworld.com/linde-to-showcase-at-rapid-tct-2018/2014424.article>, acessado em 12.04.2018.

Sampson J., 2018 – Linde partners with Europe’s largest innovation platform. Disponível em <https://www.gasworld.com/linde-partners-with-innovation->

[platform/2014259.article](#), acessado em 12.04.2018

Schatsky D., Mahidhar V., 2014 - Intelligent automation: A new era of innovation – Deloitte Insights, DUP, January 22, 2014.

Scheer A. W., 2013 - Industry 4.0: What will production processes look like in 2020? IMC AG, Saarbrücken. ISBN 978-3-9815833-2-8.

Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Hompel M., Wahlster W., 2017 - Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag 2017

Schwab, K., 2016 - The Fourth Industrial Revolution. Penguin Random House, U.K.

Scott A., 2017 - Bayer, Yara sow seeds of digital farming. Chemical & Engineering News Article. Disponível em <https://cen.acs.org/articles/95/i9/Bayer-Yara-sow-seeds-digital.html>, acessado em 25.03.2018.

Sirkin H., Zinser M., Rose J., 2014 - The Shifting Economics of Global Manufacturing. Boston Consulting Group.

Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M., 2016 - Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises. Deloitte Consulting.

Spelman M., Gomez F., Weinelt B., Chaabane N., Siyam R., Kreuzer B., Galovac M., Popp W., Shah A., Beckmann T., Shroff S., 2017 - Digital Transformation Initiative Chemistry and Advanced Materials Industry. Accenture Consulting e World Economic Forum White Paper.

Tambini J., 2017 - G20 2017 countries: Who are the members of the G20? Disponível em <https://www.express.co.uk/news/world/825533/G20-2017-who-are-members-summit-Hamburg-Germany-nations>, acessado em 02.02.2018.

Tassey, G., 2010 - ‘Rationales and Mechanisms for Revitalizing US Manufacturing R&D Strategies’, Journal of Technology Transfer, 35, 283–333.

Thienen S., Clinton A., Mahto M., Sniderman B., Deloitte Press, 2016 - Industry 4.0

and the chemicals industry: Catalyzing transformation through operations improvement and business growth.

The 13th Five-Year Plan For Economic And Social Development Of The People's Republic Of China (2016–2020), 2016 - Translated by Compilation and Translation Bureau, Central Committee of the Communist Party of China. Beijing, China.

Toda S., Jasper J., 2017 - Sumitomo Chemical adopts NEC's SDN solutions for the network infrastructure of its Chiba Works. Sumimoto Chemical Press Release. Disponível em https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/newsreleases/docs/20171127e_2.pdf, acessado em 15.04.2018.

Treichl C., 2017 - AkzoNobel Accelerates their Digital Ambition with LAN Network Transformation by DXC Technology. DXC Technology Press Release. Disponível em http://www.dxc.technology/nce/press_releases/143856-akzonobel_accelerates_their_digital_ambition_with_lan_network_transformation_by_dxc_technology, acessado em 12.04.2018.

Tremblay J., Bomgardner M., Tullo A., Mullin R., Reish M., Scott A., 2018 – World Chemical Outlook 2018. Disponível em <https://cen.acs.org/articles/96/i2/world-chemical-outlook-for-2018.html>, acessado em 05.02.2018.

Tullo A., 2017 – C&EN's Global Top 50 Chemical Companies in 2016. Disponível em <https://cen.acs.org/articles/95/i30/CENs-Global-Top-50.html>, acessado em 08.03.2018.

Twentyman J., 2017 - AkzoNobel unveils smart and sustainable paint factory. Disponível em <https://internetofbusiness.com/akzonobel-unveils-smart-and-sustainable-paint-factory/>, acessado em 12.04.2018.

Wessner, C. W., Wolff A., 2012 - Rising to the Challenge: US Innovation Policy for Global Economy, Washington, DC, National Academy of Sciences Press.

Westerheide P., Schlieff B., Maeck R., Sunderbrink T., Forschler B., Kolb R., Ragginger C., Klages-Büchner S., Nikolic N., Roick T., 2017 - The German Chemical Industry 2030. Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI).

Westerman A., Morawietz M., Geissbauer R., Vedso J., Schrauf S., 2016 - Industry 4.0: Building the digital enterprise, Chemicals key findings. PwC Global Survey, 2016.

Westervelt R., Ravenscroft M., 2016 – Digital Transformation. IHS Chemical Week , issue 17 October 2016.

White D., 2015 – Do Chemical Engineers care about Big Data?. Industrial IoT/Industrie 4.0 Viewpoints, 29 April 2015, <https://industrial-iot.com/2015/04/do-chemical-engineers-care-about-big-data/>, acessado em 20.12.2017.

Womack D., 2018 - How digital transformation is reformulating the chemicals industry. IBM Chemicals & Petroleum White Paper.

World Economic Forum (WEF), 2016 - The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution, January 2016.

Xu X., 2012 - From cloud computing to cloud manufacturing. Robot Com-Int Manuf 2012;28(1):75–86.

Xu L.D., He W., Li S., 2014 - Internet of Things in industries: A survey. IEEE Trans Ind Inform 2014;10(4):2233–43

Yuan Z., Qinb W., Zhao J., 2017 - Smart Manufacturing for the Oil Refining and Petrochemical Industry. Engineering 3 (2017) 179–182

Zhang J., Venkataswamy S., Gollapalli V., Viridi M., 2017 - Key Insights from IDC Worldwide Robotics Survey.

Zhang Q., Cheng, L., & Boutaba, R., 2010 - Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. Journal of Internet Services and Applications, 2010, Vol. 1, No. 1.

Zheng Z., 2015 - Sinopec Jiujiang Pioneers an Intelligent Factory. ICT insights, Huawei Publications.

Zhong R., Xu X., Klotz E., Newman S., 2017 - Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review - Engineering 3 (2017) 616–630.