

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

**LARA STUMPF HORN**

**A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA DIGITAL**

**Porto Alegre**

**2017**

**LARA STUMPF HORN**

**A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA DIGITAL**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel(a) em Ciências Econômicas.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Tatsch

**Porto Alegre  
2017**

### CIP - Catalogação na Publicação

Horn, Lara Stumpf

A estratégia alemã para a Indústria Digital /  
Lara Stumpf Horn. -- 2017.  
61 f.

Orientadora: Ana Lúcia Tatsch.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade  
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,  
Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Mudança tecnológica. 2. Política industrial e de  
inovação. 3. Alemanha. I. Tatsch, Ana Lúcia, orient.  
II. Título.

**LARA STUMPF HORN**

**A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA DIGITAL**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel(a) em Ciências Econômicas.

Aprovada em: Porto Alegre, 17 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. Ana Lúcia Tatsch – Orientadora  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

---

Profa. Dra. Marcilene Martins  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

---

Prof. Dr. André Moreira Cunha  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família pela dedicação, carinho, compreensão e paciência durante o período de elaboração desse trabalho. Para minha mãe, Beatriz, e meus irmãos, Tomaz e Tiago, um muito obrigado pelo apoio em todos os passos dessa etapa da graduação. A meu pai, Sérgio, um agradecimento especial pelos momentos de debate e de críticas ao trabalho, que certamente enriqueceram não apenas o desenvolvimento desse texto, como também a minha formação.

Muito obrigado também ao meu namorado, Thomás, pelos necessários momentos de descontração e pela paciência durante os períodos em que me fiz ausente para a elaboração desse projeto. Aos meus amigos, agradeço por torcerem por mim nesta jornada.

Agradeço minha orientadora, Ana Lúcia Tatsch, por aceitar a tarefa de me auxiliar no trabalho de conclusão de curso e pela constante e enriquecedora orientação ao longo da minha graduação. Por fim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram da conclusão desse trabalho.

## RESUMO

Indústria 4.0 é o termo utilizado para designar a possível transformação da esfera da produção industrial viabilizada pela junção de tecnologias digitais e da internet com a indústria tradicional. Nos últimos anos, alguns países, em especial os líderes mundiais no setor industrial, têm identificado essa possibilidade e buscado promovê-la. O objetivo desse trabalho é tentar identificar quais foram os principais passos e quais as principais medidas adotadas pela Alemanha para a criação do projeto *Industrie 4.0*. Pretendeu-se descrever as ações do Estado e a participação da iniciativa privada alemãs no desenvolvimento desse projeto, decorrentes do reconhecimento de ser o desenvolvimento da Indústria 4.0 uma garantia ao crescimento sustentável do país e à manutenção de sua competitividade face às demais economias mundiais. Verificou-se que esse projeto, inserido na estratégia nacional de incentivo à tecnologia de ponta, mantém a tradição alemã de promoção de política industrial calcada na cooperação entre agentes públicos e privados. Além disso, o Estado executa tanto medidas horizontais quanto verticais para a promoção da Indústria 4.0 e os principais resultados são identificados na criação de um modelo de arquitetura de referência da indústria e o estabelecimento de acordos bilaterais com outras nações interessadas em desenvolver a Indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Mudança tecnológica. Política industrial e de inovação. Alemanha.

## ABSTRACT

Industry 4.0 is the term coined to designate the possible transformation in the industrial sphere of production made possible by the combination of digital technologies and the Internet with the traditional industry. In recent years, some countries, especially the industrial world leaders, have identified this possibility and sought to promote it. The aim of this work is to try to identify the main steps and measures adopted by Germany for the creation of the *Industrie 4.0* project. It was intended to describe the actions of the government and the participation of the German private initiative in the development of this project, which result from the recognition of the development of Industry 4.0 as a guarantee for the country's sustainable growth and the maintenance of its competitiveness against other world economies. It was verified that this project, situated in the national high-technology strategy, maintains the German tradition of promotion of industrial policy based on the cooperation between public and private agents. Furthermore, the government implements both horizontal and vertical measures for the promotion of Industry 4.0 and the main results are identified as the establishment of an industry benchmark architecture model and the establishment of bilateral agreements with other nations interested in developing the Industry 4.0.

**Keywords:** Technical change. Industrial and innovation policy. Germany.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. PARADIGMAS TECNOECONÔMICOS E A INDÚSTRIA 4.0 .....</b>	<b>10</b>
2.1 PARADIGMAS TECNOECONÔMICOS .....	10
2.2 A INDÚSTRIA DIGITAL .....	13
2.3 A INDÚSTRIA DIGITAL: CONSEQUÊNCIAS E DESAFIOS DA ALTERAÇÃO NA PRODUÇÃO.....	18
<b>3. POLÍTICA INDUSTRIAL E DE INOVAÇÃO.....</b>	<b>25</b>
3.1 A TEMÁTICA DA POLÍTICA INDUSTRIAL E DE INOVAÇÃO NA TEORIA ECONÔMICA.....	26
3.2 O HISTÓRICO DA POLÍTICA INDUSTRIAL NA ALEMANHA .....	32
<b>4. A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA 4.0.....</b>	<b>38</b>
4.1 ATRIBUTOS DO SETOR INDUSTRIAL ALEMÃO.....	38
4.2 INICIATIVAS POLÍTICAS E ATORES: A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA 4.0 .....	42
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar o século XXI, percebeu-se em várias das maiores economias mundiais alterações significativas em sua forma de produção industrial, especialmente no aspecto relacionado à intensidade de sua componente tecnológica. Por diversas razões que serão examinadas no decorrer do trabalho, a conservação da participação relativa do setor industrial na composição do produto total dessas economias tornou-se um problema premente. As respostas a esse desafio, contudo, não foram uniformes e nem seguiram o mesmo itinerário ou modo de implementação. Essa variância tem fortes raízes na tradição política e cultural de cada nação. Enquanto nos Estados Unidos a iniciativa privada tem sido a principal responsável pelo direcionamento dessa implementação, na Alemanha, país com forte tradição de planejamento de suas ações, a resposta a esse desafio tem sido organizada com marcante presença do Estado.

Na Alemanha, a reconfiguração de sua produção industrial tem no projeto da Indústria 4.0 a principal iniciativa. Fundamentada em desenvolvimentos de mecanização, automação e digitalização da produção, a Indústria 4.0 representa uma transformação abrangente em toda a esfera da produção. Essa transformação se constrói a partir dos avanços da revolução digital iniciada na década de 1970, num processo em que as possibilidades de aplicação prática à indústria, bem como suas fronteiras, são ditadas pelo estágio atingido pelo conhecimento científico.

Um dos autores tomados como referência nesse trabalho é Giovanni Dosi. Em obra de 1988, intitulada *'The nature of the innovative process'*, esse autor identifica a inovação como a busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, novos processos produtivos e novas formas de organização, envolvendo elemento fundamental de incerteza. A inovação tecnológica que aqui se analisa tornou-se um processo intensivo em ciência, caracterizado, igualmente, pela crescente complexidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento. Relacionado a isso, as firmas e organizações podem aprender com o uso e melhora do processo produtivo. A inovação, portanto, é caracterizada como um processo ou atividade cumulativa (*path-dependency*).

Ainda mais, conforme explicitado por Conceição (2000), a inovação tecnológica é um dos conceitos fundamentais da abordagem neoschumpeteriana, da qual Richard Nelson, Sidney Winter, Christopher Freeman e Carlota Perez fazem parte, juntamente com Giovanni Dosi. Responsável pelo desencadeamento de transformações que superam os limites tecnológicos, difundindo-se em novos processos e novos produtos e afetando os hábitos e costumes sociais

institucionalizados, o processo de inovação conduz à formulação de novos paradigmas tecnoeconômicos.

Segundo a corrente neoschumpeteriana, não existe desenvolvimento espontâneo da indústria. Aí encontra-se a sugestão de haver necessidade de uma política industrial ativa e abrangente, direcionada a setores ou atividades capazes de induzir a mudança tecnológica, bem como alterar o ambiente econômico e institucional como um todo. Outras teorias econômicas, por seu turno, baseando-se em diferentes visões sobre seus fundamentos teóricos, chegam a conclusões diferentes quanto à necessidade ou à forma de aplicação da política industrial. A abordagem neoclássica, por exemplo, entende que a política industrial somente se justifica como ferramenta para remediar as imperfeições de mercado, nunca cumprindo um papel seletivo ou indutor de setores ou firmas específicas (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

A questão a ser investigada neste trabalho, motivada pelas considerações neoschumpeterianas acerca das mudanças de paradigmas tecnoeconômicos, bem como pelas discussões do papel das políticas industrial e de inovação no desenvolvimento da indústria dos países, se atém ao exame da maneira porque tem ocorrido o processo de promoção e desenvolvimento da Indústria Digital na Alemanha.

O tema escolhido para a elaboração do projeto cobre um fenômeno em evolução, cuja forma acabada permanece desconhecida. Exibe, no entanto, determinações, características e tendências peculiares que variam conforme a sua identidade nacional. Nesse trabalho, optou-se por abordar o assunto a partir do projeto *Industrie 4.0* na Alemanha. O pioneirismo em declarar abertamente a intenção de desenvolver aquilo que a literatura convencionou designar por “Quarta Revolução Industrial”, aliado ao caráter manifestamente planejado das ações empreendidas por agentes públicos e privados no sentido de sua implementação, credenciam-no como caso exemplar, que comporta as manifestações típicas desse processo de transformação radical da produção industrial nos tempos atuais.

Em termos gerais, objetiva-se identificar quais foram os principais passos e quais as principais medidas adotadas pela Alemanha para a criação do projeto *Industrie 4.0*. Além disso, foi estabelecido um objetivo secundário para a pesquisa, qual seja, elencar as características determinantes dessa Indústria, levando-se em consideração ser a literatura sobre esse tema ainda muito esparsa.

O método de abordagem aqui proposto é o dedutivo, partindo-se do geral para o específico, e a pesquisa será do tipo descritiva. Esse tipo de pesquisa é utilizado quando busca-se conhecer as diversas situações e relações que se desdobram na vida social, política e

econômica, adequando-se melhor ao modelo de questionamento levantado pelo trabalho. Aqui pretende-se descrever as ações do Estado e a participação da iniciativa privada alemãs no desenvolvimento da Indústria 4.0, decorrentes do reconhecimento de ser o desenvolvimento desse projeto uma garantia ao crescimento sustentável do país e à manutenção de sua competitividade face às demais economias mundiais.

Como etapa inicial realizou-se uma pesquisa bibliográfica, utilizando diversos artigos publicados em periódicos, documentos oficiais publicados pelo Estado federal da Alemanha e seus grupos de pesquisa, e relatórios divulgados por entidades privadas, com a finalidade de esclarecer o que caracteriza o termo Indústria 4.0 e quais são as possíveis implicações desse fenômeno, sem descuidar de seus desafios, o que foi contemplado no capítulo 2 a seguir. O capítulo 3, por sua vez, dedica-se a reportar concisamente a evolução histórica da política industrial no mundo, acompanhado pelo resumo do tratamento dado ao tema da política industrial pelas principais correntes de pensamento econômico. Encerra-se com o histórico da política industrial na Alemanha. Já o capítulo 4 expõe as medidas normativas adotadas pelo país para implementar a Indústria 4.0. Esse estudo de caso valeu-se de relatórios divulgados por entidades privadas, documentos oficiais e dados sobre o setor industrial do país disponibilizados pela base de dados do Eurostat e da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO).

Este trabalho se justifica, por um lado, pelo caráter indispensável da compreensão das transformações na indústria por parte de agentes privados e de países industrializados que aspiram uma posição competitiva em nível local ou global. A natureza recente da Indústria 4.0 pode dificultar o acesso ao conhecimento sobre o tema e é nesse sentido que a pesquisa a ser desenvolvida nesse trabalho de conclusão de curso pode contribuir para enriquecer as discussões a respeito das características, potenciais repercussões, e formas de aplicação desse processo de mudança. Por outro lado, esse trabalho se justifica também pela importância da análise das ações de política industrial realizadas pela Alemanha para o fomento da sua indústria – análise esta que pode auxiliar no exame e avaliação de possíveis medidas e instrumentos de PI em outros países, à exemplo do Brasil. Sejam as políticas uma resposta reativa ou estratégica, sempre existem lições a serem aprendidas em ambos casos, mesmo que as evidências não sejam diretamente aplicáveis a futuros programas.

## 2. PARADIGMAS TECNOECONÔMICOS E A INDÚSTRIA 4.0

Os saltos tecnológicos têm sido desde o começo da industrialização os responsáveis por mudanças nos paradigmas da produção, denominadas *ex-post* de revoluções industriais. A nova combinação de tecnologias que se encontra na produção industrial está resultando em uma mudança fundamental de paradigma e é a isso que se convencionou chamar, *ex-ante*, de Quarta Revolução Industrial (LASI *et al.*, 2014). Para discutir tais transformações e seus impactos na economia propõe-se nesse capítulo uma revisão inicial acerca do conceito de paradigma tecnoeconômico, introduzido por Freeman e Perez (1988), seguido de uma discussão sobre a Indústria 4.0, expondo suas principais características, ferramentas e desafios.

### 2.1 PARADIGMAS TECNOECONÔMICOS

Os conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas estão fortemente enraizados nos trabalhos de autores neo-schumpeterianos como Richard Nelson, Sidney Winter, Christopher Freeman, Carlota Perez e Giovanni Dosi. Seguindo a concepção de Schumpeter sobre o papel essencial desempenhado pela mudança tecnológica e pelo empreendedorismo no crescimento econômico, esses autores buscaram identificar quais as causas e as repercussões estruturais do progresso técnico, que depende do desenvolvimento de inovações. A abordagem neo-schumpeteriana considera que esse processo resulta das características do setor onde são geradas ou adotadas as inovações e de fatores institucionais como o financiamento às atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (LA ROVERE, 2006).

Em paralelo à definição de Kuhn de paradigma científico, Dosi (1982) propõe a definição de paradigma tecnológico como um “padrão” de solução para problemas tecnológicos selecionados. O “modelo” incorpora prescrições sobre quais direções de mudanças técnicas seguir e quais ignorar e denomina de trajetória tecnológica o padrão de atividades “normais” de resolução de problemas com base em um paradigma tecnológico. La Rovere (2006) assinala que enquanto o conceito de paradigma tecnológico está mais fortemente relacionado à geração e à adoção de inovações, a trajetória tecnológica está mais conectada à difusão de inovações. Além disso,

(...) o conceito de trajetória tecnológica, ao ser definido como a direção tomada pelo desenvolvimento tecnológico, dadas as escolhas constantes do paradigma, sugere que as firmas têm um processo de desenvolvimento tecnológico que é condicionado pelas

escolhas passadas que elas fizeram. [...] estariam assim dependentes de sua trajetória (LA ROVERE, 2006, p. 289).

Freeman e Perez (1988) propõem a utilização da expressão paradigma tecnoeconômico ao invés de paradigma tecnológico, ampliando o escopo de análise para incluir não apenas trajetórias para produtos ou processos tecnológicos específicos, mas também as estruturas de custos relacionadas às condições de produção e distribuição ao longo do sistema. As mudanças nos paradigmas tecnoeconômicos podem ser consideradas ‘meta-paradigmas’, pois seus efeitos se disseminam ao longo de toda economia, implicando uma nova combinação específica de vantagens técnicas e econômicas. Perez (2009) afirma que o paradigma tecnoeconômico, ao articular-se através de um conjunto de novas tecnologias em difusão, multiplica seus impactos na totalidade da economia e, eventualmente, modifica também a forma de organização das estruturas sócio-institucionais.

Um conjunto específico de insumos e de padrões de difusão, definidos como fatores-chave, caracteriza cada paradigma tecnoeconômico. Esse inclui a promoção de mudanças significativas e persistentes nos custos relativos, que possuem a capacidade de alterar as regras de decisão e o senso comum dos engenheiros e dos administradores, e potencial explícito de uso ou incorporação em diversos produtos e processos nas diferentes atividades econômicas. Além disso, o conjunto também contempla a oferta aparentemente ilimitada dos insumos por longos períodos de tempo, considerada como condição essencial para a criação de confiança, da qual dependem as decisões de investimento (FREEMAN; PEREZ, 1988).

Freeman e Perez (1988) assinalam ainda que cada um desses insumos identificados como "fator-chave" já existia em paradigmas anteriores, mas é apenas quando a produtividade nessas trajetórias sinaliza limitações persistentes ao crescimento e há uma ameaça real para os lucros futuros que os altos risco e custo de tentar uma nova tecnologia se justificam. É somente após claros sinais de sucesso advindos das muitas tentativas de implementação dessas novas tecnologias que aplicações subsequentes se tornam mais fáceis e menos arriscadas em termos de escolha como investimento. Estes autores destacam ainda ser comum que essas inovações surjam como um meio de superação de gargalos nas “velhas” tecnologias, contudo elas rapidamente adquirem suas próprias dinâmicas, evoluindo gradualmente para a condição de organização produtiva “ideal”.

O período de transição entre paradigmas é caracterizado por uma profunda mudança na estrutura econômica, exigindo, portanto, alterações igualmente profundas em termos de estrutura institucional e social. Alguns aspectos como o novo perfil da força de trabalho, novo

*mix* de produtos, novos padrões de localização dos investimentos e novas “melhores práticas” de organização da produção se repetem com a difusão de um novo paradigma tecnoeconômico. Outras tendências observadas no período de transição concernem, de início, aos novos padrões de consumo e de distribuição da produção, seguidas por inovações incrementais e radicais que utilizam mais intensamente o novo fator-chave, emergência de uma onda de investimentos em infraestrutura orientados para a geração de externalidades e para a facilitação do uso dos novos produtos e serviços. Nota-se igualmente a entrada de novas pequenas firmas empreendedoras em áreas de expansão da economia ou em novos setores, além da tendência de concentração de grandes empresas na área de produção e utilização intensa do fator-chave característico do novo paradigma (FREEMAN; PEREZ, 1988). O Quadro 1 abaixo apresenta de forma resumida as cinco revoluções tecnológicas identificadas em Freeman e Perez (1988).

**Quadro 1 - Paradigmas tecnoeconômicos**

PERÍODOS	DESCRIÇÃO	INDÚSTRIAS-CHAVE	FATORES-CHAVE	ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL
1770-1840	Mecanização	Têxtil, química, metalmeccânica e cerâmica	Algodão e ferro	Pequenas empresas locais
1840-1890	Máquinas a vapor e ferrovias	Motores a vapor, máquinas-ferramenta e máquinas para ferrovias	Carvão e sistemas de transporte	Empresas pequenas e grandes, e crescimento das sociedades anônimas
1890-1940	Engenharia pesada e energia elétrica	Estaleiros, produtos químicos, armas e máquinas elétricas	Aço	Monopólios e oligopólios
1940-1980	Modelo fordista	Automobilística, armas, aeronáutica, bens de consumo duráveis e petroquímica	Derivados de petróleo	Competição oligopolista e crescimento das multinacionais
1980-período atual	Tecnologias de informação e comunicação (TIC)	Computadores, produtos eletrônicos, <i>software</i> , telecomunicações e serviços de informação	Microprocessadores	Redes de firmas

Fonte: adaptado de La Rovere (2006).

Perez (2009) afirma que uma revolução tecnológica, que incorpora uma mudança de paradigma tecnoeconômico, pode ser compreendida como um potencial de abertura para novas oportunidades de inovação, instituindo um novo conjunto de tecnologias, infraestruturas e princípios organizacionais com potencial de aumentar a eficiência e a efetividade de todas as atividades contidas na teia industrial. As mudanças abrangentes introduzidas por esses processos não são de fácil assimilação, alterando o *status quo* econômico e social. Porém, a

adaptação mútua da tecnologia e da sociedade através de processos de aprendizado e de reestruturação adaptativa do quadro institucional permite o máximo aproveitamento do potencial de criação de riqueza apresentado por cada novo paradigma.

## 2.2 A INDÚSTRIA DIGITAL

Alguns autores sugerem que o paradigma atual de produção não é mais sustentável. Se por um lado as aplicações da produção se veem impulsionadas por mudanças sociais, econômicas e políticas, por outro é possível enxergar um estímulo à alteração na forma de produção provocado por novas tecnologias (LASI *et al.*, 2014). A transição nas últimas décadas partindo de uma situação de “mercado de vendedores” para uma situação de “mercado de compradores” incentivou a demanda por customização dos produtos. A combinação dessa característica com o decrescente ciclo de vida dos produtos interfere na sinergia dos cofatores da competitividade, conferindo importância especial ao tempo de colocação de um produto no mercado e à receptividade dos consumidores a esses produtos. Isso assinala, de outro lado, a necessidade de transformações nas estruturas organizacionais de empresas que desejam lidar com a crescente complexidade da produção (BRETTEL *et al.*, 2014; MCKINSEY, 2015).

Lasi *et al.* (2014) argumentam que esse novo panorama social, econômico e político implica a necessidade de flexibilização e descentralização no desenvolvimento dos produtos, especialmente em sua fase de confecção. Ademais, não se pode ignorar a necessidade de lidar com os impactos negativos da atividade industrial sobre o meio ambiente, de que são exemplos o aquecimento global e a poluição ambiental, e o elevado consumo de recursos não renováveis como petróleo e carvão, argumento que se encontra realçado no trabalho de Wang *et al.* (2015). Os autores salientam que a alteração do contexto dos aspectos ecológicos exige que a busca por aumento de eficiência econômica esteja vinculada ao aumento da eficiência ecológica. Em países desenvolvidos como Alemanha e Japão o encolhimento da força de trabalho devido ao envelhecimento da população também deve impactar a forma de organização da produção.

De forma complementar, os avanços tecnológicos das últimas décadas e principalmente o barateamento dessas tecnologias estão impulsionando a busca pela reorganização das estruturas produtivas (LASI *et al.*, 2014; SCHEER, 2015). Desenvolvimentos de mecanização, automação, miniaturização e digitalização induzem diversas mudanças na produção. O relacionamento entre máquinas e humanos, o nível de otimização e controle nas diferentes

etapas de produção, análises de dados e utilização de ferramentas como simulação, proteção digital e realidade aumentada devem passar por alterações (LASI *et al.*, 2014).

A proposta de solução para a restrição do paradigma atual da produção que se examina neste capítulo é o que se convencionou chamar de Quarta Revolução Industrial ou de Indústria Digital. Na Alemanha recebeu o nome de *Industrie 4.0*, enquanto nos Estados Unidos e na China essas alterações são identificadas, respectivamente, como *Industrial Internet* e *Internet+*. Países membros da União Europeia a identificam como *Smart Factories*, *The Industrial Internet of Things*, *Smart Industry* ou *Advanced Manufacturing* (DAVIES, 2015; WANG *et al.*, 2016).

A ideia por trás dessa expressão é a de uma transformação abrangente em toda a esfera da produção industrial, viabilizada pela junção de tecnologias digitais e da internet com a indústria tradicional, acarretando uma cadeia de valor altamente integrada (DAVIES, 2015; EVANS; ANNUNZIATA, 2012). Essa transformação se constrói a partir dos avanços da revolução digital iniciada na década de 1970, caracterizando-se como uma fusão de tecnologias que anuviam as linhas entre as esferas física, digital e biológica, e que se viabiliza por três conceitos fundamentais: Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços (ALMADA-LOBO, 2016; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

A Internet das Coisas (IdC) é um termo utilizado para transmitir a ideia de que a comunicação via internet não é restrita aos seres humanos, podendo se estender aos objetos. Ela é entendida como uma infraestrutura global capaz de interconectar “coisas” e objetos que possuam tecnologias interoperacionais de informação e comunicação, como sensores de radiofrequência, atuadores e até mesmo celulares. Através da exploração da identificação, captura e processamento de dados, e de sua intrínseca capacidade de comunicação, a IdC explora ao máximo as possibilidades de uso dos objetos inteligentes (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION – ITU, 2012).

Analogamente, a Internet dos Serviços (IdS) retrata uma infraestrutura que utiliza a internet como meio para oferecer e vender serviços através de múltiplos canais (CARDOSO; VOIGT; WINKLER, 2009). Bruno (2016) acresce que a ideia de IdS foi desenvolvida inicialmente no programa ‘*Autonomik für Industrie 4.0*’ do Ministério Federal da Economia e da Energia alemão, baseado em uma arquitetura orientada por serviços que favorece o estabelecimento de estações de montagem modulares, facilmente montadas ou modificadas.

Um conceito menos debatido no âmbito econômico, Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems*, CPS) podem ser descritos como objetos físicos com *software* e poder



computacional integrados, usados em situações nas quais sistemas físicos complexos precisem se comunicar com o mundo digital para otimizar seu desempenho e melhorar sua eficiência (ALMADA-LOBO, 2016). De acordo com Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), a aplicação dos sistemas ciberfísicos em um contexto de produção manufatureira inclui máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações capazes de trocar informações de forma autônoma, desencadear ações e controlar a produção sem a necessidade de interferência de agentes externos ao circuito. A aplicação desses sistemas não se restringe, contudo, ao campo industrial. A utilização desse ferramental no controle de redes de energia e tráfego, e na redução das emissões de dióxido de carbono são cada vez mais comuns (HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK – HBM, 2017).

A convergência da Internet das Coisas e dos Serviços e dos Sistemas Ciberfísicos é, em essência, a Indústria Digital. Em suma, “*CPS link the physical and virtual worlds by communicating through a data infrastructure, the Internet of Things*” (LICHTBLAU, 2014, p.13)<sup>1</sup>. No âmbito da fábrica, a utilização de CPS implica a geração de sistemas de produção e de logística que se organizam em grande medida sem intervenção humana – a chamada fábrica inteligente. As máquinas, equipamentos e até mesmo as peças, nesse espaço, trocam informações através da nuvem, internet ou chips de identificação por radiofrequência, facilitando as cadeias de distribuição auto organizadas. Isso permite que os processos sejam otimizados automaticamente e que a tomada de decisões ocorra de forma autônoma, ou seja, a produção se torna mais flexível e econômica (LICHTBLAU, 2014; ROBLEK; MESKO; KRAPEZ, 2016; HBM, 2017). O Quadro 2, abaixo, procura elucidar as principais diferenças entre a fábrica inteligente e a fábrica tradicional.

**Quadro 2 - Comparação das características técnicas da fábrica inteligente e da fábrica tradicional**

(Continua)

<b>FÁBRICA INTELIGENTE</b>	<b>FÁBRICA TRADICIONAL</b>
<b>Recursos diversificados:</b> para produzir múltiplos tipos de produtos de pequeno lote, um número maior de recursos diferenciados deve coexistir em um mesmo sistema.	<b>Recursos limitados e predeterminados:</b> para construir uma linha fixa de produção em massa de um tipo especial de produto, os recursos necessários devem ser calculados, adaptados e configurados para minimizar excessos de recurso.

<sup>1</sup> “CPS conectam os mundos físico e virtual através da comunicação via uma infraestrutura de dados, a Internet das Coisas” (LICHTBLAU, 2014, p. 13).

(Conclusão)

<b>FÁBRICA INTELIGENTE</b>	<b>FÁBRICA TRADICIONAL</b>
<b>Direcionamento dinâmico:</b> a troca entre diferentes tipos de produtos deve ser acompanhada de reconfiguração automática na linha dos recursos e das rotas que os ligam.	<b>Direcionamento fixo:</b> a linha de produção permanece fixa a menos que seja reconfigurada manualmente, implicando desligamento do sistema.
<b>Conexões abrangentes:</b> máquinas, produtos, sistemas informacionais e pessoas estão conectadas e interagem uns com os outros através de uma infraestrutura de rede de alta velocidade.	<b>Redes de controle de chão de fábrica:</b> é possível utilizar <i>Fieldbuses</i> para conectar estações de controles com suas respectivas estações, porém comunicação entre máquinas não é necessária.
<b>Convergência profunda:</b> a fábrica inteligente opera em um ambiente no qual a rede sem fio industrial e a nuvem integram todos os objetos físicos e os sistemas de informação, formando a IdC e IdS.	<b>Camadas separadas:</b> os equipamentos de campo são separados dos sistemas informacionais superiores.
<b>Organização autônoma:</b> a função de controle é distribuída em múltiplas entidades. Essas entidades inteligentes negociam umas com as outras para organizar e suportar a dinâmica do sistema.	<b>Controle independente:</b> cada máquina é programada para executar as funções designadas. Falha de qualquer dispositivo quebra a linha inteira.
<b>Big Data:</b> produtos inteligentes podem produzir quantidades massivas de dados. A rede de internet os transfere e a nuvem os processa analiticamente.	<b>Informações isoladas:</b> as máquinas podem gravar seus próprios processos de informação, mas os dados são raramente utilizados por outras máquinas.

Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2015).

A consultoria McKinsey (2015) aponta quatro *clusters* de combinações de tecnologias que, quando completamente desenvolvidas, permitem o funcionamento efetivo dos novos processos de produção. A utilização do primeiro desses grupos, formado por *Big Data*, capacidade computacional e conectividade, tem sido impulsionada principalmente pela significativa redução de custos. Os pré-requisitos para a utilização dessas tecnologias estão postos: a interoperabilidade é possibilitada por novos protocolos de comunicação, a conectividade é viabilizada por infraestruturas sem fio que conectam milhares de objetos inteligentes, e por fim o preço de peças de *hardware* necessárias para essas atividades está declinando. Scheer (2015) adiciona a importância da redução dos preços de armazenamento de informações e a criação de novas tecnologias de base de dados “*in memory*”, isto é, a possibilidade de armazenar enormes quantidades de informação na memória dos próprios computadores.

O segundo *cluster*, constituído por ferramentas analíticas e de inteligência, permite que se realize análises dos desempenhos passados das máquinas e equipamentos, que se criem

capacitações de ações preventivas e se gerem indicativos de desempenhos futuros do sistema. Avanços em inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquinas, assim como o aumento exponencial dos dados disponíveis e o avanço de técnicas de estatística impulsionam este *cluster* de tecnologias (SCHEER, 2015; MCKINSEY, 2015).

O advento de tecnologias como as interfaces sensíveis ao toque, o reconhecimento de movimento e a realidade virtual e aumentada é o principal responsável pela capacitação do terceiro *cluster* de tecnologias – as interações entre humanos e máquinas. A crescente familiaridade dos consumidores com novas as formas de interação com as máquinas desempenha um papel importante para a utilização desse *cluster* de tecnologias (MCKINSEY, 2015).

Por fim, o quarto *cluster* elencado por McKinsey (2015) é caracterizado pela conversão digital em física, possibilitada por uma combinação de redução de custos, expansão do conjunto de matérias-primas utilizáveis e avanços na precisão e na qualidade. Tecnologias de manufatura aditiva como a impressão em 3D, por exemplo, são agora capazes de funcionar com uma gama muito maior de materiais, incluindo vidro, biocélulas, cimento e até mesmo açúcar. A proporção física dos produtos gerados a partir da manufatura aditiva também está aumentando.

Um último aspecto salientado pela literatura em relação à mudança da produção comentada até aqui é a sua forma de integração. Baseadas na digitalização, que permite a troca eficiente de dados entre agentes, máquinas e peças, a integração horizontal e a integração vertical são consideradas aspectos fundamentais para a implementação bem-sucedida das mudanças preconizadas pela Indústria Digital (BRETTEL *et al.*, 2014; LICHTBLAU, 2014; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; WANG *et al.*, 2016).

A integração horizontal tem por objetivo facilitar a interconexão de todos os parceiros internos e externos da cadeia de valor de uma empresa, formando um “ecossistema” eficiente, capaz de planejar e controlar o ciclo de vida do produto ao longo da produção de acordo com as necessidades dos consumidores. Além disso, essa associação entre empresas descreve a consolidação de vários sistemas de tecnologias de informação (TI) em uma solução que envolve as diferentes etapas do processo de produção e do planejamento administrativo. Informações, finanças e materiais podem fluir por entre empresas diferentes, de forma que novas redes de valor e modelos de negócio devem surgir na Indústria 4.0 (LICHTBLAU, 2014; WANG *et al.*, 2016).

Brettel *et al.* (2014) observam que a integração horizontal ganha especial importância para pequenas e médias empresas com recursos limitados. Enquanto a dimensão do valor

adicionado por uma fábrica está diminuindo, a complexidade dos produtos e dos processos está aumentando, de forma que as redes colaborativas podem balancear eventuais riscos e combinar recursos, expandindo as oportunidades de mercado para essas empresas na Indústria Digital.

A integração vertical do sistema de produção, por sua vez, significa a implementação da fábrica inteligente, descrevendo a relação interna da empresa, isto é, como seus subsistemas criam um sistema flexível e reconfigurável de manufatura que principia pelo *design* do produto, atravessa sua fase da confecção e atinge as etapas finais de logística e serviço pós-venda. Um conjunto de configurações de TI define quais processos e materiais devem ser utilizados para criar topologias específicas para cada situação, incluindo os requerimentos associados em termos de modelos, dados, comunicações e algoritmos. Dessa forma, a integração vertical possibilita que máquinas inteligentes formem um sistema adaptável a diferentes tipos de produtos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Wang *et al.* (2016) argumenta que a integração vertical de subsistemas hierárquicos é o condicionante para a fábrica inteligente, que, por sua vez, sustenta a integração horizontal das redes de valor. A fábrica inteligente, dessa forma, introduz as bases para a integração e colaboração mais extensivas – a implementação da Indústria 4.0. Consumidores e as atividades de *design*, de manufatura e de logística podem interagir em uma rede colaborativa global que opera na nuvem. Para os autores, isso se traduziria em um paradigma de produção sustentável, que deve impactar profundamente o estilo de vida dos indivíduos, a cultura e a organização social.

### 2.3 A INDÚSTRIA DIGITAL: CONSEQUÊNCIAS E DESAFIOS DA ALTERAÇÃO NA PRODUÇÃO

A partir disso uma miríade de consequências está sendo vislumbrada para a indústria. Mencionada brevemente no texto acima, o aumento da flexibilidade na produção, especialmente no desenvolvimento dos produtos, é uma delas. A automação do processo de manufatura, a transmissão de dados à medida que um produto passa pela linha de montagem e o uso de robôs configuráveis e da manufatura aditiva permite que uma variedade de produtos seja confeccionada em uma mesma instalação, atendendo demandas individuais a custos marginais relativamente baixos. Além de garantir as bases para a customização em massa, a flexibilização também é responsável pelo aumento no estímulo às inovações, dado que protótipos e novos produtos podem ser gerados rapidamente sem a necessidade de mudança de ferramentas ou de um novo *setup* da linha de montagem (DAVIES, 2015).

Davies (2015) sugere também que pode haver redução do tempo entre a análise de um produto e a sua disponibilização para a venda (*time to market*), devido ao desenvolvimento digital dos produtos e à modelagem virtual dos processos de manufatura. McKinsey (2015) salienta que a redução no *time to market*, situada na faixa de 30 a 50 por cento na Indústria 4.0, cria valor adicional através do aumento das receitas e das vantagens potenciais em ser o primeiro a agir (*first mover advantage*). Os consultores citam como exemplo a fabricante americana de carros Local Motors, que utiliza manufatura aditiva – impressoras 3D – na quase totalidade da produção, reduzindo o ciclo de desenvolvimento do produto de seis anos para um ano.

Tais ganhos de agilidade, entretanto, não surgem em detrimento da qualidade do produto. Pelo contrário, as linhas de produção sensorialmente controladas da Indústria Digital são capazes de realizar monitoramento contínuo, acionando máquinas de correção de erros e ajustando o processo de produção em tempo real. Este aumento da qualidade dos produtos tem importante papel na redução dos custos e, portanto, no aumento da competitividade. A unidade de produção da Siemens em Amberg, na Alemanha, pode ser citada como exemplo. A fábrica opera sob as definições de uma fábrica inteligente, onde a administração de produtos, manufatura e sistemas de automação está integrada e máquinas inteligentes coordenam a produção e distribuição de 950 produtos com mais de cinquenta mil variantes. Essa fábrica exhibe baixíssimo índice de defeitos: são 12 defeitos por milhão de peças produzidas (DAVIES, 2015).

A Indústria Digital também implica ganhos de produtividade e eficiência dos recursos. Wang *et al.* (2015) argumentam que é possível, utilizando a análise de *Big Data*, estabelecer um conhecimento preciso sobre o processo de produção e garantir um sistema com nível estável de qualidade dos produtos e taxa de bens acabados. Disso decorre a facilidade de determinação prévia das quantidades de matérias-primas necessárias à produção, minimizando a redundância do uso desses materiais. Adicionalmente, máquinas inteligentes operam de tal forma que é possível reduzir o consumo de energia. Com essa finalidade, os ajustes operados por essas máquinas incluem economia de energia durante as pausas da produção e a utilização intensiva de novas tecnologias, a exemplo de motores de velocidade controlada.

Para Blanchet *et al.* (2014), as empresas tradicionais continuarão a existir no mercado, mas alguns agentes já estabelecidos adaptarão suas organizações, processos e capacidades. Davies (2015) sugere que ao invés de competir exclusivamente pelos custos, as empresas poderão competir também com base na inovação – a capacidade de entregar novos produtos

rapidamente -, na capacidade de personalizar mercadorias às demandas específicas dos consumidores – através de fábricas configuráveis – ou na qualidade dos bens devido à redução de falhas. Por outro lado, como argumentado por McKinsey (2015), novos modelos de negócio podem ser construídos para ofertar soluções às necessidades de integração bem como suprir as necessidades de novos serviços. Os dados adquiridos a partir de produtos inteligentes são encarados, neste contexto, como um recurso capaz de gerar valor. A Figura 1 abaixo apresenta sucintamente as quatro principais tendências em relação à criação de novos modelos de negócios que explorem essas oportunidades.

**Figura 1 - Tendências de criação de novos modelos de negócio**



Fonte: adaptado de McKinsey (2015).

No modelo baseado em plataformas, dois padrões principais se destacam: as plataformas interativas e as tecnológicas, também chamadas de ecossistemas. Na plataforma interativa a empresa fornece as condições tecnológicas necessárias para conectar diferentes atores e coordenar suas interações. Neste caso, o fornecedor adiciona valor ao sistema através da garantia de um nível de qualidade e distribuição ótima dos bens e serviços oferecidos. No ecossistema, por outro lado, desenvolvedores de sistemas abertos facilitam às empresas o acesso à aplicação de tecnologias e produtos originais e o desenvolvimento de novos produtos.

O segundo modelo - “negócio como serviço” – baseia-se na ideia de que produtores de equipamentos tecnológicos podem transformar fluxos únicos de receita em fluxos contínuos

através de modelos de subscrição. O pagamento, neste caso, é baseado na utilização da máquina, ao invés de um preço fixo total (MCKINSEY, 2015).

O terceiro modelo de negócio apontado por McKinsey (2015) está fortemente conectado ao crescimento do valor adicionado por *softwares* e à importância de dados como “matéria-prima”. Neste caso, a empresa fornece subscrição de *software*, manutenção e suporte para seus compradores, gerando receita a partir da venda de serviços adicionais como cursos de treinamento.

O último modelo é aquele que utiliza os dados diretamente como base de valor. As empresas podem auferir renda com a venda de dados coletados por seus produtos ou a partir do uso de *insights* obtidos através dos dados para identificar necessidades e características dos consumidores, o que possibilita customizações específicas.

A última consequência da Indústria Digital a ser comentada diz respeito à participação dos trabalhadores na fábrica. Dado que o trabalho é um importante componente dos custos na maioria das indústrias, melhoras na sua produtividade podem atuar como fontes importantes de geração de valor. Esse valor pode ser capturado através de ferramentas que reduzam o tempo de espera entre processos ou que aumentem a velocidade das operações dos trabalhadores (MCKINSEY, 2015). Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apontam a possibilidade de um redirecionamento dos trabalhadores das fábricas para atividades que envolvam habilidades mais técnicas e *expertise* em tecnologia da informação e comunicação (TIC), bem como capacidades relacionadas à criatividade e à tomada de decisões. Dessa forma, é muito provável que a natureza do trabalho na Indústria Digital imponha demandas significativamente maiores aos integrantes da força de trabalho em termos de gerenciamento de complexidade, abstração e resolução de problemas, proporcionando oportunidades em termos de enriquecimento qualitativo das atividades, além de um ambiente de trabalho mais interessante, maior autonomia e maiores possibilidades de autodesenvolvimento.

Em contrapartida, espera-se que o número de tarefas manuais executadas pelos trabalhadores continue sua trajetória declinante devido à crescente presença de TI na indústria. Isso poderia representar uma ameaça a pelo menos alguns grupos de funcionários, principalmente trabalhadores não qualificados. Este cenário teria consequências negativas tanto para os próprios funcionários quanto para o público em geral em termos de inclusão social (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Schwab (2015) sugere que não é possível identificar se essa transformação na produção não irá resultar em maior desigualdade, especialmente se considerado o potencial disruptivo das novas tecnologias no mercado de

trabalho. Os maiores beneficiários das inovações, segundo o autor, tendem a ser os fornecedores de capital intelectual e físico – inovadores, acionistas e investidores – podendo resultar em aumento da desigualdade de renda entre os indivíduos dependentes do capital e do trabalho.

As demandas do novo local de trabalho digital também representam uma ameaça à manutenção e proteção do capital humano. Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) argumentam que:

[...] there is a danger of employees being required to be more flexible and perform more demanding tasks, as well as a growing tension between the virtual world and the world of workers' own experience. This could result in workers experiencing a loss of control and a sense of alienation from their work as a result of the progressive dematerialization and virtualisation of business and work processes (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013, p.53)<sup>2</sup>.

Em resumo, ainda não está claro quais serão as implicações da junção de tecnologias digitais e da internet com a indústria tradicional para o mercado de trabalho. É provável que a execução de tarefas manuais na fábrica não seja mais atribuição de seres humanos, que ocorra reemprego dos trabalhadores em outras partes da economia, a exemplo da área de serviços e da indústria de TI, e que empregos “rotineiros” exijam níveis mais elevados de habilidades técnicas e criativas (ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD, 2016).

Davies (2015) e Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apontam que o aumento no nível de exigência aos trabalhadores em setores específicos pode representar um desafio à implantação da Indústria Digital se a disponibilidade de mão de obra especializada não responder de maneira suficientemente rápida. Davies (2015) destaca que até o ano 2020 os mercados de trabalho na União Europeia (EU) poderiam enfrentar escassez de mais de 850 mil profissionais de TIC, situação que pode ser ainda mais pronunciada em ambientes industriais nos quais analistas de *Big Data* e segurança cibernética são requeridos. Além disso, as propostas de incentivo à aquisição das chamadas “*eSkills*” podem não ser suficientes para superar esse desafio. Em pesquisa realizada na Alemanha com jovens adultos, apenas 13% se mostraram interessados em seguir carreira na área de TIC, apesar da opinião majoritária de que este setor ofereceria as melhores perspectivas de emprego.

---

<sup>2</sup> [...] existe o risco de os funcionários serem obrigados a agir de forma mais flexível e realizar tarefas mais exigentes, bem como uma crescente tensão entre o mundo virtual e o da própria experiência dos trabalhadores. Isso poderia resultar em trabalhadores que experimentassem uma perda de controle e uma sensação de alienação de seu trabalho como resultado da desmaterialização progressiva e da virtualização dos processos de negócios e de trabalho (tradução própria).



A segurança digital é um ponto crítico para a Indústria Digital. Este não é um problema novo, mas à medida que um maior número de dispositivos, indústrias e consumidores se conectam através de produtos inteligentes e aumenta a quantidade de informações coletadas e compartilhadas pelos agentes no mercado, a administração dessa segurança passa a ser cada vez mais imperativa. A execução de uma atividade que dependa de tecnologias digitais deve sempre levar em consideração as consequências econômicas e sociais de um possível problema com segurança digital que afete a oferta, integridade ou confidencialidade das informações no sistema informacional (OECD, 2016). Com a crescente quantidade de dados coletados e compartilhados, é necessário que questões como propriedade e proteção de dados e de tecnologias, responsabilidade e restrições de troca de informação estejam completamente esclarecidas (DAVIES, 2015; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A OECD (2016) sugere que a adoção dessas novas tecnologias relacionadas à Indústria Digital não deve, no curto prazo, aumentar drasticamente a demanda pela infraestrutura necessária. Dessa forma, é preciso garantir a continuidade dos fluxos de investimento em diversas áreas, tais como desenvolvimento de tecnologias sensoriais, técnicas de economia de energia e plataformas interoperacionais de *software*. Um crescente número de empresas grandes do setor de TIC estão investindo significativamente em projetos de IdC e Estados de alguns países estão procurando formas de promover essa atividade.

Davies (2015) e Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) mencionam a existência de uma possível barreira financeira para as empresas de pequeno e médio porte (PME), pois o volume de investimento necessário enquadra-se em uma faixa que excede as possibilidades postas para essas empresas. Em particular o alto grau de incerteza associado à transição para a produção digitalizada pode configurar um impeditivo, porque não seria possível dimensionar como essa mudança afetaria suas cadeias de valor.

Por último, a necessidade de criação de estruturas padronizadas que possibilitem a troca de dados entre máquinas, *softwares* e sistemas ao longo de uma cadeia de valor também é comentado como um desafio para a implementação da Indústria Digital. Um “ecossistema” fragmentado com tecnologias não interoperáveis pode prejudicar o nível de eficiência alcançado pelas economias de escala. A fabricação de um produto nesse ecossistema fabril vai empregar *hardware* e *software* de diferentes fornecedores e a capacidade de empregar as funcionalidades de cada um desses dispositivos é elemento-chave para a satisfação completa do potencial das novas técnicas de produção (OECD, 2016). Protocolos de comunicação e de dados fechados ou reconhecidos apenas em nível nacional podem afetar a concorrência e o

comércio, bem como elevar os custos de produção. Por outro lado, protocolos abertos, com interfaces internacionais independentes, de comum acordo, podem garantir a interoperabilidade em diferentes setores e países, incentivar a ampla adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e garantir mercados abertos em todo o mundo (DAVIES, 2015).

Em suma, o que se pretendeu neste capítulo foi esboçar que, a partir de algumas limitações e algumas necessidades que podem ser identificadas no paradigma atual de produção, propõem-se o desenvolvimento da Indústria Digital e sua disseminação entre as maiores economias do mundo. Foram apresentados os conceitos que definem essa nova estrutura da produção, bem como as tecnologias que a sustentam, potenciais consequências de sua implementação e alguns desafios que devem ser superados.

Tomando como pano de fundo a argumentação neoschumpeteriana de que desenvolvimento da indústria não é espontâneo e, portanto, há espaço e necessidade para intervenção estatal, o capítulo a seguir aborda questões relativas à política industrial. Em especial, apresenta-se o processo de aplicação desse tipo de medida na Alemanha, culminando na estratégia atual de promoção da Indústria Digital.

### 3. POLÍTICA INDUSTRIAL E DE INOVAÇÃO

Nos últimos anos, alguns países, em especial os líderes mundiais no setor industrial, têm identificado a mudança da forma de produção discutida no capítulo anterior e buscado promovê-la. Alguns desses países, como os Estados Unidos e os membros da União Europeia, têm procurado seguir essa tendência como uma alternativa aos movimentos de desindustrialização e de crescimento da taxa de desemprego verificada no setor industrial. Outros países, a exemplo da Índia e da China, seguem idêntica trajetória, visando principalmente reduzir sua dependência de tecnologia externa (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Os Estados Unidos têm buscado incentivar a implementação da IdC na indústria desde 2006, quando os Sistemas Ciberfísicos foram identificados pela *National Science Foundation* (NSC) como uma prioridade para pesquisa. Em 2014, foi formada a *Industrial Internet Consortium* (IIC), uma organização aberta cujo objetivo era acelerar o desenvolvimento, a adoção e o uso generalizado de máquinas e equipamentos interconectados e análise inteligente de dados (INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM-IIC, 2017).

Na União Europeia (UE), dois movimentos podem ser distinguidos: primeiro, um de criação de bases e financiamento para toda UE e, segundo, outro de ações próprias alguns países membros a exemplo da Itália, Reino Unido, França e Alemanha. O programa de pesquisa *Horizon 2020*, no âmbito da União Europeia, com desenvolvimento projetado para os anos de 2014 a 2020, conta com uma dotação de aproximadamente 80 bilhões de euros para a alocação em pesquisa e inovação, além do financiamento de protótipos e projetos de demonstração, como é o caso das ‘Fábricas do Futuro’. Outras fontes de fomento na União Europeia incluem a iniciativa *ICT Innovation for Manufacturing SMEs* e os *European Structural and Investment Funds*. Quanto às iniciativas específicas dos países membros da UE, aí estão incluídas a *Fabbrica del Futuro*, da Itália, *Factory of the Future*, da França e a *Plattform INDUSTRIE 4.0*, da Alemanha (DAVIES, 2015).

No Capítulo 4, adiante, retrata-se a política industrial (PI) elaborada pela Alemanha para assistir à implementação da Indústria Digital no país. Antes disso, entretanto, procura-se elucidar no presente capítulo algumas temáticas referentes à PI, em especial questões relacionadas à racionalidade deste tipo de intervenção na teoria econômica e na política alemã.

### 3.1 A TEMÁTICA DA POLÍTICA INDUSTRIAL E DE INOVAÇÃO NA TEORIA ECONÔMICA

A expressão ‘política industrial’ adquiriu significados variados na literatura econômica. A controvérsia acerca de sua definição e de seu escopo está calcada principalmente nas diferentes visões sobre os fundamentos teóricos em que se estrutura. De maneira geral, parece claro que os casos de sucesso de industrialização raramente resultaram de acidentes ou das operações irrestritas do livre mercado. Dito de outra forma, a análise de uma variedade de experiências ao longo da história atesta o caráter indutor da política industrial sobre o desenvolvimento econômico (NAUDÉ; SZIRMAI, 2012).

Segundo Naudé (2010), o primeiro e mais famoso exemplo de industrialização, a Primeira Revolução Industrial no Reino Unido, no século XVIII, foi consequência da adoção de uma política industrial pelo governo britânico. O autor cita evidências que descrevem o lançamento, em 1721, de um programa de proteção abrangente da indústria infante pelo governo Walpole (1721-1742) e de medidas de proibição de exportação de bens de capital e de emigração de artesãos que perduraram, respectivamente, até 1843 e 1824, que visavam a proteção e o estímulo de indústrias de alta tecnologia à época.

No século seguinte, países como França, Alemanha, Estados Unidos e Japão também adotaram políticas industriais. No período após a Segunda Guerra Mundial, o debate sobre política industrial foi intensificado em meio à reconstrução do Japão e da Europa, e da independência de muitas colônias africanas, asiáticas e latino americanas. Desde então, a teoria e prática da PI passaram por várias fases (NAUDÉ, 2010). O Quadro 4, abaixo, resume essa evolução.

**Quadro 3 - Evolução da teoria e da prática de PI**

(Continua)

PERÍODO	PRINCIPAIS IDEIAS	REPRESENTANTES
1940 - final 1960	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrialização é necessária para o desenvolvimento</li> <li>- Falhas de mercado impedem que isso ocorra automaticamente</li> <li>- Falhas de mercado estão disseminadas em países em desenvolvimento</li> <li>- PI é necessária, particularmente proteção à indústria infante, propriedade estatal e coordenação do Estado</li> </ul>	Rosenstein-Rodan Hirschman Prebisch Myrdal

(Conclusão)

PERÍODO	PRINCIPAIS IDEIAS	REPRESENTANTES
1970 - 1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obstáculos práticos à PI são considerados significativos</li> <li>- Falhas de governo são piores do que falhas de mercado. PI é um convite ao desperdício e <i>rent-seeking</i></li> <li>- Livre comércio, privatização, e atração de Investimento Estrangeiro Direto (IED), junto com estabilidade macroeconômica e Estado mínimo, são as bases para o crescimento e industrialização</li> <li>- Consenso de Washington</li> </ul>	Baldwin Krueger Pack
2000 - presente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presença de falhas de mercado e de governo</li> <li>- “Como” é mais importante do que “por que” no debate de PI</li> <li>- Configuração institucional é importante, mas <i>design</i> das políticas é difícil</li> <li>- Flexibilidade na prática de PI é importante</li> <li>- Existem diferenças em relação à extensão da aplicação de vantagens comparativas, mas o princípio é válido</li> <li>- Inovação e <i>upgrade</i> tecnológico devem ser o objetivo central da PI</li> <li>- Promoção dos sistemas nacionais de inovação devem ser um importante objetivo da PI</li> </ul>	Amsden Dosi Rodrik Chang Lall Lin Nelson Robinson

Fonte: adaptado de Naudé (2010).

Observa-se, portanto, que o período após a Segunda Guerra Mundial foi caracterizado pela adoção de medidas seletivas de intervenção governamental, mas as três décadas subsequentes aos anos 1960 qualificaram um período de retorno à visão liberal, condizente com ideologias de livre mercado dos governos Reagan, nos Estados Unidos, e Thatcher, na Inglaterra. Esse movimento se reflete nos países em desenvolvimento no século XX, primeiro através das políticas de substituição de importações, e depois com a aplicação de políticas relacionadas ao Consenso de Washington<sup>3</sup> (NAUDÉ, 2010; FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002). Naudé (2010) argumenta, ainda, que a crise do Leste Asiático de 1997-98 intensificou mais uma vez o debate sobre política industrial, com preocupações que identificavam, ao menos parcialmente, a origem da crise financeira em políticas industriais que conduziram ao financiamento bancário de setores não lucrativos.

Para Warwick (2013), houve recentemente um ressurgimento do interesse político e acadêmico pela política industrial, datado do início dos anos 2000 e intensificado após a crise financeira de 2008-09. Muitos países desenvolvidos estão buscando novas fontes de

<sup>3</sup> O Consenso de Washington diz respeito a um conjunto de medidas propostas por agências situadas na capital norte-americana que incluem: disciplina fiscal, priorização dos gastos públicos, reforma fiscal, liberalização do financiamento, unificação da taxa de câmbio, liberalização comercial, abolição de barreiras ao investimento externo direto, privatização, desregulamentação e garantia do direito de propriedade (FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002).

crescimento econômico e criação de emprego, enquanto outros preocupam-se que a produção de manufaturados declinou excessivamente e que os conhecimentos e competências associadas a esse setor tenham sido irreversivelmente perdidas. Em alguns casos, há um apelo a políticas industriais para fortalecer setores específicos, tecnologias ou áreas de atividade econômica com o objetivo de promover novas fontes de crescimento econômico.

A partir dessa discussão e baseando-se nos trabalhos de Ferraz, de Paula e Kupfer (2002) e Peres e Primi (2009) pode-se sugerir que as abordagens de política industrial sejam divididas em quatro categorias: *laissez-faire*, neoclássica ou falhas de mercado, teoria desenvolvimentista e, por fim, teoria neoschumpeteriana.

Sharp (2001) argumenta que a decisão de não intervir na economia, deixando a “mão invisível” agir sozinha é, em si só, uma forma de política industrial. Peres e Primi (2009) complementam que na visão baseada no livre mercado não há necessidade de uma política industrial ativa ou específica, porque o mercado automaticamente seleciona os setores e firmas de forma a alocar eficientemente os recursos. Neste sentido, o papel do Estado se resume a garantir as ‘regras do jogo’. A visão de política industrial promovida sob o Consenso de Washington durante as décadas de 1980 e 1990 aproxima-se da definição de *laissez-faire* de PI.

A abordagem neoclássica também enxerga o mercado como o mecanismo privilegiado para a eficiente alocação dos recursos, porém admite a necessidade e oportunidade para a intervenção estatal baseada na existência das chamadas ‘falhas de mercado’, geralmente associadas ao comportamento dos agentes econômicos e a características específicas do conhecimento e da tecnologia (PERES; PRIMI, 2009). De acordo com Ferraz, de Paula e Kupfer (2002), os cinco principais tipos de falhas de mercado são:

- a) Estruturas de mercado ou condutas não competitivas, como oligopólios e monopólios. Neste caso, os mecanismos da política industrial geralmente se resumem a políticas de regulação da concorrência, que buscam evitar uma perda de bem-estar para o consumidor em virtude do exercício do poder de mercado;
- b) Externalidades, verificadas quando decisões dos agentes econômicos influenciam outros agentes positivamente ou negativamente. A correção desse problema geralmente tem na fusão das empresas envolvidas, na criação de um imposto ou subsídio que corrija os preços dos produtos e na atribuição de direitos de propriedade para criar um mercado para as externalidades, seus principais instrumentos;

- c) Fornecimento de bens públicos. As duas características principais desse tipo de bem – não-exclusividade e não-rivalidade<sup>4</sup> – fazem que o seu fornecimento dê margem ao que se conhece como o problema do carona (*free rider*), ou seja, a possibilidade de usar sem pagar. A solução para este revés consiste na oferta dos bens públicos diretamente pelo Estado ou através de concessões;
- d) Direitos de propriedade comum (ou difusa) referem-se aos casos nos quais o direito de propriedade não é imputável individualmente. Neste caso, podem existir poucos incentivos para conservar ou melhorar essas propriedades e o Estado deverá determinar a exploração desses bens;
- e) Diferenças entre as taxas de preferências intertemporais sociais e privadas. A intervenção estatal se justifica porque a preferência entre consumo corrente e futuro de um bem ou serviço dos agentes privados e da sociedade divergem.

No início dos anos 1970, a abordagem neoclássica levantou o problema das falhas de governo. Esse argumento se baseia na análise de que o Estado não é mais isento de cometer erros do que o mercado. Isso decorre principalmente de sua dificuldade de obter e processar as informações necessárias para a tomada de decisão e do controle limitado que detém sobre as consequências de suas ações. Além disso, a separação entre *design* e implementação das políticas propostas e, por fim, a existência de incentivos que favorecem interesses velados também levam às falhas de governo (PERES; PRIMI, 2009). Desta forma, a percepção neoclássica implica em uma PI reativa e restrita, justificável apenas se os benefícios de uma intervenção no fluxo econômico superarem os custos das falhas de governo e de *rent-seeking* (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Em relação à política de ciência, tecnologia e inovação, Costa (2013) argumenta que a teoria neoclássica pressupõe que essa política seja consistente com medidas relacionadas ao modelo linear de inovação, no qual a entrada para o desenvolvimento tecnológico das empresas se dá através da ciência básica. Kuhlmann (2008) acrescenta que laboratórios públicos e universidades devem direcionar suas pesquisas para compensar falhas de mercado que previnam o investimento privado em determinadas áreas de pesquisa e inovação. Além das falhas de mercado já mencionadas anteriormente, os economistas ortodoxos argumentam que o setor público deveria fornecer as bases para a pesquisa básica, tendo em vista a incapacidade

---

<sup>4</sup> Um bem é considerado não rival (ou não disputável) quando o custo marginal da sua produção é zero para um consumidor adicional e é considerado não exclusivo quando as pessoas não podem ser impedidas de consumi-lo, o que dificulta ou impossibilita a cobrança por seu uso (PINDYCK; RUBINFELD, 2010).

de apropriação direta de resultados nesse tipo de pesquisa. Uma vez superadas tais limitações, as inovações fluiriam do e para o setor privado com limitada participação do Estado.

Já a corrente desenvolvimentista está baseada no entendimento de que a intervenção do Estado por intermédio da proposição de política industrial se legitima através da capacidade de promover e sustentar o desenvolvimento, compreendido como a conciliação de taxas de crescimento econômico altas e sustentadas e de mudança estrutural no sistema produtivo. Desta forma, a política industrial deve ser ativa. Defendido por economistas e cientistas sociais associados à Cepal<sup>5</sup>, o argumento do apoio e proteção à indústria nascente é um dos mais reconhecidos desta corrente. A ótica desenvolvimentista é reconhecida pelo destaque que atribui à manufatura como setor estratégico da economia, à importância do capital intelectual e do *learn by doing*, e à necessidade de importar tecnologias mais avançadas. Neste contexto, todos os instrumentos de política econômica são postos a serviço do objetivo industrializante e o Estado lidera o mercado, pois decide quais produtos e tecnologias devem ser encorajados, mobilizando os instrumentos de incentivo e regulação necessários. À medida que um país avança nos estágios de maturação da competência industrial, entretanto, a intervenção estatal se reduz, abrindo maior espaço para as decisões privadas (FERAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002).

Este modelo de desenvolvimento associa-se a um processo de mudança técnica característico, responsável pela ratificação do desenvolvimento tecnológico dos países. O desenrolar desse progresso técnico estava associado, por sua vez, ao processo de industrialização por substituições de importações, que constitui uma política de ciência e tecnologia implícita. Desta forma, é possível argumentar que:

Essa política era composta por dois elementos constitutivos. O primeiro elemento, entendido como motor do processo de desenvolvimento tecnológico, é a promoção – via industrialização extensiva – da progressiva absorção das capacidades de produção de bens manufaturados. O segundo elemento da política implícita no modelo é baseado na expectativa de que a industrialização (por exemplo, a assimilação de capacidade de produção) iria trazer como um subproduto a “industrialização” do processo de mudança técnica (por exemplo, o desenvolvimento de capacidade de inovação) (VIOTTI, 2008, p. 141).

Também se contrapondo à abordagem liberal, os economistas associados às vertentes neoschumpeteriana, evolucionista e estruturalista – identificados por Ferraz, de Paula e Kupfer

---

<sup>5</sup> Cepal faz referência à Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe, instituição associada à Organização das Nações Unidas (ONU).



(2002) como autores associados à ótica da competência para inovar - sugerem que a política industrial seja ativa e abrangente, direcionada a setores ou atividades capazes de induzir mudanças tecnológicas e alterar de modo abrangente o ambiente econômico e institucional. Essa visão de PI decorre da ideia de haver uma coevolução de tecnologias, estruturas de empresas e indústrias, infraestruturas, normas e regulamentações, cuja força motora está centrada na inovação (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Rejeitando os pressupostos de equilíbrio do mercado, informação perfeita e racionalidade dos agentes, a ótica da competência para inovar defende que as assimetrias e externalidades são a razão de ser do processo de acumulação e crescimento de uma economia capitalista. O desenvolvimento da produção e de capacidades tecnológicas depende da interação entre mecanismos de mercado e não-mercado, através de um processo de tentativa e erro com *feedback* contínuo. Para os neoschumpeterianos o desenvolvimento é o resultado das diversidades, complementaridades e sinergias entre diferentes agentes e atividades econômicas (FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002; PERES; PRIMI, 2009). Neste sentido, a empresa privada configura-se como:

(...) uma instância privilegiada para a busca e a introdução de inovações no sistema econômico. As firmas evoluem ao longo do tempo através da ação conjunta de busca e seleção, com o mercado selecionando inovações em geral (...), de forma que o ambiente competitivo institucional no qual a firma se insere condiciona sua atuação estratégica. Assim, o mercado passa a ser tratado como um ambiente de seleção de inovações (COSTA, 2013, p. 71).

Embora o protagonismo esteja na empresa e no seu espaço de atuação no mercado, o Estado também possui papel relevante, segundo essa abordagem. Aqui a racionalidade para a intervenção estatal decorre do reconhecimento da impossibilidade de existência de uma economia na qual o auto interesse e a autorregulação representem seus únicos motivadores e mecanismos. O Estado deve estimular as empresas a desenvolverem novas capacitações, dado que o progresso tecnológico está baseado em conhecimentos tácitos e específicos, de difícil transferência. Neste sentido, as políticas industrial e tecnológica superpõem-se nesse campo, resultando no que se denomina de política de inovação. Além disso, o Estado também deve estimular a articulação e formação de alianças estratégicas que aumentem as capacitações empresariais em um ambiente competitivo mais seletivo. Para promover este ambiente indutor de inovações, devem-se mesclar medidas genéricas e seletivas, sem esquecer, contudo, que por lidar com a inovação tecnológica, a formalização de PI pela ótica da competência para inovar opera sob incerteza. A existência de uma institucionalidade pública altamente capacitada é,

portanto, imperativo para o sucesso de quaisquer medidas de intervenção (FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002; PERES; PRIMI, 2009).

As diferentes formas de pensar a intervenção estatal acima apresentadas conduzem a formas distintas de formulação de política industrial. Ferraz, de Paula e Kupfer (2002) distinguem a natureza dos instrumentos e alvos da PI em duas categorias prioritárias: políticas horizontais e políticas verticais.

As políticas horizontais, ou funcionais, são aquelas pautadas pela melhora do desempenho econômico no todo e, portanto, não fomentam setores ou empresas específicas. Dentre os vários instrumentos associados às políticas horizontais, destacam-se aqueles relacionados à concorrência (repressão de condutas anticompetitivas e controle de concentração), à infraestrutura (políticas de concessões e controle administrativo de preços), ao comércio exterior (política tarifária e não-tarifária, lei *antidumping*, salvaguardas) e à propriedade intelectual (patentes, transferência tecnológica e registro de marcas). Políticas genéricas de desenvolvimento de recursos humanos, ciência e tecnologia e infraestrutura (portos, energia elétrica, transporte) também são alvo da política industrial horizontal (FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002).

As políticas verticais, por outro lado, são comumente defendidas pela abordagem desenvolvimentista e evolucionária. Essa categoria inclui as políticas que privilegiam deliberadamente um conjunto específico de empresas, indústrias ou cadeias produtivas, isto é, são consideradas seletivas. A intervenção do Estado para alterar as regras de alocação de recursos entre setores é justificada por quatro argumentos principais: existência de indústrias com maior valor agregado; indústrias com grande poder de encadeamento, *i.e.*, com grande efeito multiplicador ao longo da cadeia produtiva; proteção de indústrias nascentes ou que apresentem retornos crescentes de escala; e a existência de indústrias com grande dinamismo potencial, que acarretariam em crescimento maior da renda agregada (FERRAZ; DE PAULA; KUPFER, 2002).

### 3.2 O HISTÓRICO DA POLÍTICA INDUSTRIAL NA ALEMANHA

A extensão e detalhes exatos da política industrial na Alemanha não são fáceis de mensurar, dada a pluralidade de medidas, atores (federação, *Länder* e municipalidades)<sup>6</sup> e

---

<sup>6</sup> A República Federal da Alemanha é constituída por 16 estados denominados de *Land* (no plural *Länder*). As cidades de Berlim, Hamburgo e Bremen possuem estatuto de estado, sendo denominadas de *Stadtstaaten* ('cidades-

estatísticas nos diferentes aspectos das intervenções. É possível afirmar, entretanto, que a Alemanha pratica uma das políticas industriais mais ativas da Europa (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

Apesar da falta de consenso acerca das características-chave institucionais no modelo alemão, Vitols (1997) argumenta que o Estado nacional desempenha papel fundamental na política industrial, embora geralmente sob a forma de um “facilitador” através de apoio a instituições e por intermédio de políticas com impacto generalizado na indústria como um todo. Para o autor, dois tipos significantes de intervenção impedem que o modelo alemão de PI seja classificado como *laissez-faire*. Primeiro, o apoio à regulamentação corporativa do mercado de trabalho, que restringe estratégias competitivas baseadas em menores custos salariais de empresas expostas à concorrência internacional. Segundo, o forte apoio estatal à complexa infraestrutura institucional, que auxilia um amplo espectro de empresas a responder às pressões da concorrência internacional e à restrição de mão-de-obra. Esse auxílio surge, normalmente, na forma de fornecimento de habilidades e recursos financeiros e tecnológicos necessários para a busca de estratégias competitivas baseadas na qualidade. A infraestrutura de política industrial, fortemente fundamentada em instituições descentralizadas, a exemplo de associações industriais e câmaras locais bancárias e de comércio, é particularmente importante para o *Mittelstand* – as pequenas e médias empresas altamente produtivas, que enfrentam desvantagens de escala *vis-à-vis* às grandes empresas.

Muitas dessas instituições e suas funções de política industrial têm longas raízes históricas. Nas duas décadas posteriores à Segunda Guerra Mundial, a recuperação alemã foi conduzida por indústrias em que o país possuía vantagem competitiva de longa data e foi sustentada pela alta demanda de bens de capital do resto da Europa. Neste período desenvolveu-se o chamado modelo alemão (*Modell Deutschland*) devido a um conjunto articulado de políticas industriais que agiam nos níveis nacional e regional. Este modelo concentrou-se em quatro eixos principais: regulação do mercado de trabalho, desenvolvimento de um sistema integrado de formação profissional, criação de infraestrutura básica de ciência e pesquisa industrial, e apoio público ao financiamento industrial (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

As restrições regulamentares da remuneração, uso e demissão do trabalho incluíram acordos vinculativos em todos os setores quanto a salários e condições de trabalho, prevendo

---

estado’). Os outros estados podem ser chamados de *Flächenländer* (‘estados territoriais’). Além disso, a Alemanha está dividida em 402 distritos (*Kreise*) no nível municipal (STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND, 2017).

um alto nível de benefícios obrigatórios de segurança social e restrições substanciais às demissões de funcionários (VITOLS, 1997). Tais medidas garantiam baixo nível de dispersão salarial entre as empresas, um nível muito inferior ao que se encontrava em países desenvolvidos como Japão, Reino Unido e Estados Unidos. Elas também incentivaram o vínculo de longo prazo dos funcionários às empresas, o que, por sua vez, encorajou as firmas a investirem no desenvolvimento de habilidades específicas e retreinamento, em um processo de contínua requalificação de sua força de trabalho. Além disso, essas ferramentas permitiram que sindicatos de trabalhadores se envolvessem nas decisões estratégicas das empresas em relação à introdução de novas tecnologias ou arranjos organizacionais, contratação e demissão, horário de trabalho e pensões. Por fim, elas impediram que empresas, especialmente aquelas expostas à concorrência internacional, construíssem sua competitividade a partir de custos salariais mais baixos, de forma que empresas menos produtivas foram forçadas a se adaptar ou a deixar o mercado (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

As potenciais desvantagens competitivas introduzidas por regulações trabalhistas rigorosas foram contrabalançadas por um conjunto de medidas cujo objetivo era auxiliar as empresas com uma força de trabalho altamente qualificada. Nas três décadas subsequentes à Segunda Guerra Mundial, o sistema de treinamento aumentou o nível de capacidade da força de trabalho, promovendo maior flexibilização do uso de mão-de-obra em um contexto de inovações incrementais e mudanças tecnológicas, possibilitando um alto grau de autonomia na produção. O sistema de treinamento “dual”, como ficou conhecido, fundamentou-se na ideia de misturar a formação baseada em empresas com as instruções teóricas de escolas profissionalizantes especializadas. Adicionalmente, um conjunto de programas, que incluía subsídios de trabalho de curto-prazo e pensões para aposentadoria antecipada mitigaram possíveis efeitos negativos dessas restrições dadas as flutuações cíclicas e a mudança estrutural típica do setor industrial (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013; VITOLS, 1997).

Entre as décadas de 1960 e 1970, o investimento alemão na ciência básica e na pesquisa industrial foi caracterizado, maiormente, por grandes projetos focados no desenvolvimento de um pequeno número de tecnologias-chave (VITOLS, 1997). Quando o Ministério de Pesquisa e Tecnologia foi criado em 1972, o apoio ao desenvolvimento tecnológico passou a constituir o eixo central da política industrial alemã. Setores industriais como o aeronáutico, de computadores, de bens de capital, energia nuclear e telecomunicações passam a ser objeto de atenção específica. Até o início dos anos 1990, a organização da política industrial e tecnológica alemã foi caracterizada por importante papel do setor produtivo e das organizações

representativas dos trabalhadores na definição e implementação de PI, pela descentralização, e pela especialização do Estado federal na harmonização das ações das *Länder* e na definição de uma política tecnológica (CASSIOLATO; SZAPIRO, 2000).

A partir de meados da década de 1970, o governo alemão aumentou seu desenvolvimento em infraestruturas de P&D apoiando-se em duas redes de institutos financiados publicamente: *Fraunhofer Society* e *Max Planck Society*. Esta infraestrutura pública de tecnologia foi complementada por uma rede de associações setoriais e locais, focada na transferência de tecnologia, fornecimento de treinamento e na organização de grupos tópicos para identificação e resolução de problemas cooperativos (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013). Essa mudança da política de pesquisa e tecnologia deu-se na direção de aumentar a capacidade de inovação da indústria como um todo, particularmente para as empresas *Mittelstand* (VITOLS, 1997).

O último pilar do modelo alemão era o sistema bancário. O estado apoiou ativamente o desenvolvimento da capacidade do sistema bancário para fornecer financiamento de longo prazo a um amplo espectro de empresas, além de incentivar a estabilidade no sistema financeiro para a promoção desses investimentos. A Alemanha também apoiou dois tipos de bancos, a saber, caixas de poupança públicas e bancos cooperativos, que constituíam uma alternativa aos grandes bancos de ações conjuntas e focavam em empréstimos às *Mittelstand*. Diversos bancos públicos ou *quase*-públicos cujo funcionamento e mandato se adaptaram ao longo dos anos com as mudanças nas necessidades das indústrias foram criados pela Alemanha. O Banco para Reconstrução (*Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW*), por exemplo, foi fundado em 1947 com o objetivo de fornecer empréstimos diretos e, desde então, tornou-se um banco de refinanciamento de longo prazo especializado em empréstimos a bancos fortemente vinculados à indústria. As *Mittelstand*, por sua vez, foram apoiadas principalmente pelo Banco Alemão de Liquidações (*Deutsche Ausgleichsbank, DtA*) e por uma forte rede de bancos de poupança pública e cooperativas de crédito, conectadas por uma estrutura organizacional "de três níveis" (local, regional e nacional). Essa estrutura permitia que bancos menores superassem as desvantagens de escala ao mesmo tempo em que mantinham a vantagem comparativa na proximidade com a economia local e com o cliente (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013; VITOLS, 1997).

A partir dos anos 1980, o Modelo Alemão passou por importantes mudanças devido à reunificação do país e à insatisfação interna. As críticas incluíam desvantagens de custos frente aos competidores externos e capacidade inovadora fraca da indústria alemã, incapaz de

responder aos mercados de indústrias tradicionais e novas indústrias "de alta tecnologia". Estes problemas de competitividade para o setor terciário contribuiriam para as altas taxas de desemprego enfrentadas pelo país (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013; VITOLS, 1997). O movimento de redução do Estado foi iniciado em 1982 pelo então chanceler Helmut Kohl através de cortes de gastos públicos e de impostos, acompanhados pela desregulamentação parcial do mercado de trabalho. Aliadas à privatização massiva mencionada acima, o tamanho do Estado foi reduzido de 52% a 46% do PIB entre 1982 e 1990 (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

O Estado alemão passou a adotar um sistema dual de política industrial a partir da reunificação do país. Por um lado, a política industrial voltada para a Alemanha Ocidental (*alte Länder*) continuou focando nas *Mittelstand* existentes e nas suas capacidades de inovação, especialmente das chamadas '*heimliche Gewinner*'<sup>7</sup> – PMEs que dominam nichos globais. Por outro, as políticas industriais voltadas para a Alemanha Oriental (*neue Länder*) focaram na criação e desenvolvimento de novas PMEs (tanto no setor manufatureiro quanto no de serviços), em investimentos de infraestrutura, em privatizações e na redução de empresas estatais (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013).

Segundo Chang, Andreoni e Kuan (2013), apesar das mudanças recentes o setor público alemão ainda conserva importante participação em empresas e usa o poder público estrategicamente. Recursos obtidos através da privatização foram utilizados, especialmente pelos governos dos *Länder*, para aplicação como capital de risco e para apoio público à inovação. As compras públicas são transparentes e estrategicamente projetadas. Por exemplo, elas prescrevem o uso de certos materiais, tecnologias ou conformidade com certos padrões, o que permite ao Estado promover certos tipos de empresas ou tecnologias.

Cassiolato e Szapiro (2000) argumentam que o Estado alemão identificou, a partir de meados da década de 1990, que apesar de todos os esforços realizados desde os anos 1970, a Alemanha ainda não havia alcançado as mudanças estruturais necessárias para atuar competitivamente em atividades ligadas ao paradigma tecnológico microeletrônico. Delgado (2009) salienta que, a partir desse panorama,

Iniciativas de concertação entre empresas, universidades e institutos de pesquisa têm se desenvolvido, nos marcos da tradição existente, mas evidencia-se um reforço do papel do governo federal na definição da política tecnológica "inclusive e em especial

---

<sup>7</sup> No inglês o termo é conhecido como *hidden champions*. Traduzindo livremente seria algo como 'campeãs escondidas'.

na conformação de novos setores intensivos em tecnologia” (CASSIOLATO; SZAPIRO, 2001<sup>8</sup> *apud* DELGADO, 2009, p. 20).

Em 2006, o governo federal alemão anunciou uma estrutura de política industrial denominada ‘*High-Tech Strategy*’, que combina recursos de todos os ministérios, investindo anualmente cerca de 4 bilhões de euros para o desenvolvimento de tecnologias de ponta. Além de abordar políticas industriais específicas, a exemplo das orientadas aos setores de mobilidade elétrica e energias renováveis, o Estado alemão está promovendo a implementação de políticas como a *Industrie 4.0* e a Agenda Digital. O principal objetivo do país é aumentar o crescimento econômico e a produtividade de forma sustentável e, conseqüentemente, ampliar sua competitividade internacional (ERBER, 2016).

Enfim, o presente capítulo procurou resgatar algo do debate econômico sobre política industrial e de inovação e o modo como os conceitos e as ferramentas de política econômica se aplicaram à Alemanha. A partir dos conceitos de política industrial e de inovação aqui postos, bem como da evolução dessas ferramentas na Alemanha, o capítulo seguinte dedica-se à análise da efetiva implementação do projeto *Industrie 4.0*.

---

<sup>8</sup> CASSIOLATO, J. SZAPITO, M. Novos objetivos e instrumentos de política de desenvolvimento industrial e inovativo em países selecionados. **Estudos Temáticos**. Rio de Janeiro, Nota Técnica 13, 2000.

#### 4. A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA 4.0

Segundo Schroeder (2016), nenhum outro discurso sobre crescimento tem sido tão fomentado por políticas governamentais de pesquisa e tecnologia e ao mesmo tempo tão intensamente conectado aos empreendedores e sindicatos na Alemanha nos últimos anos quanto o discurso da Indústria 4.0. O objetivo central desse discurso é, com apoio político, posicionar a indústria alemã como usuária e fornecedora de tecnologias digitais de produção. Neste sentido, o suporte na Alemanha não está calcado apenas em recursos estatais, envolve sistematicamente agentes corporativos e da sociedade civil. O presente capítulo apresenta brevemente a situação da indústria alemã no mundo, salientando seus pontos fortes e possíveis desafios, e, posteriormente, expõe as medidas adotadas pelo país para implementar o que se convencionou chamar de Indústria 4.0.

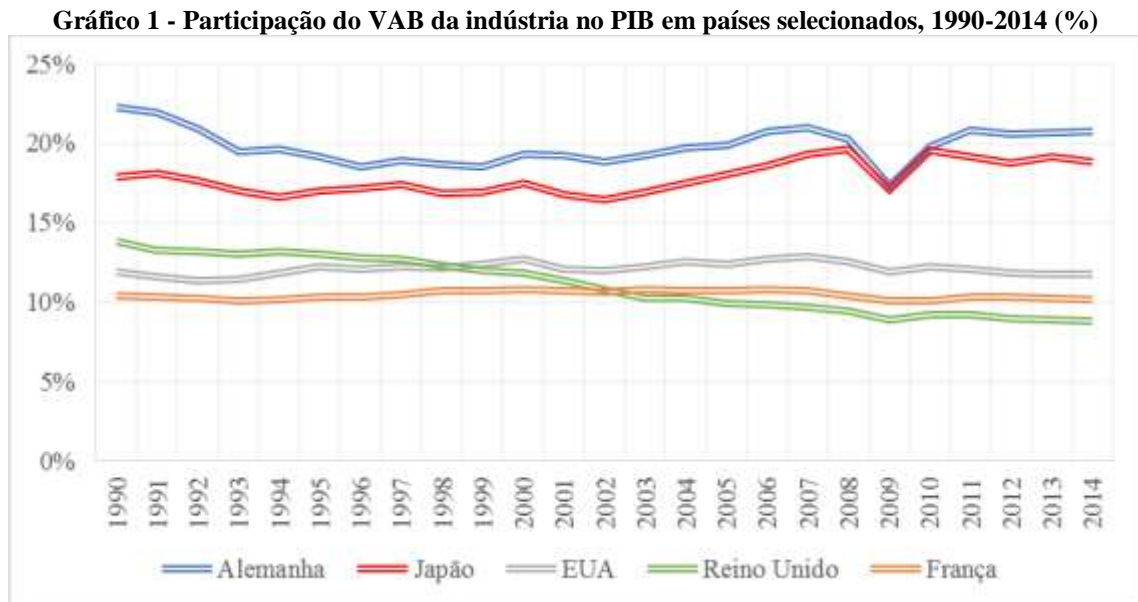
##### 4.1 ATRIBUTOS DO SETOR INDUSTRIAL ALEMÃO

De acordo com Schroeder (2016), o fato do termo Indústria 4.0 ter prevalecido na Alemanha, enquanto termos como digitalização e computorização serem utilizados em outros lugares do mundo está relacionado ao papel fundamental da indústria manufatureira na economia germânica. Em paralelo à dramática redução nas capacidades industriais das últimas décadas, evidenciadas em países da OCDE como França e Reino Unido, a Alemanha preservou e continuamente aprimorou seu núcleo industrial, tornando-se a economia nacional mais estável na Europa através da modernização do seu complexo industrial. Segundo a UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO (2016, p. 17) *“Germany’s manufacturing sector is a key factor in its macroeconomic performance, with a strong industrial core and an ability to control complex industrial value creation chains”*.

Como o Gráfico 1 mostra, a participação do valor adicionado bruto (VAB) da indústria no total da economia permaneceu relativamente estável na Alemanha após a reunificação do país em 1991. O declínio de 3 pontos percentuais entre 1991 e 1996 deu-se por conta da desindustrialização maciça da Alemanha Oriental após o choque da unificação (ERBER, 2016). No período compreendido entre a unificação até a crise financeira global de 2008-09 o país cresceu a um nível constante, enquanto alguns de seus vizinhos – sendo o Reino Unido o caso mais notório – continuavam a apresentar taxas declinantes da participação da indústria no PIB. Nos anos da crise de 2008-09, o setor terciário sofreu com o resto da economia. Apesar disso,



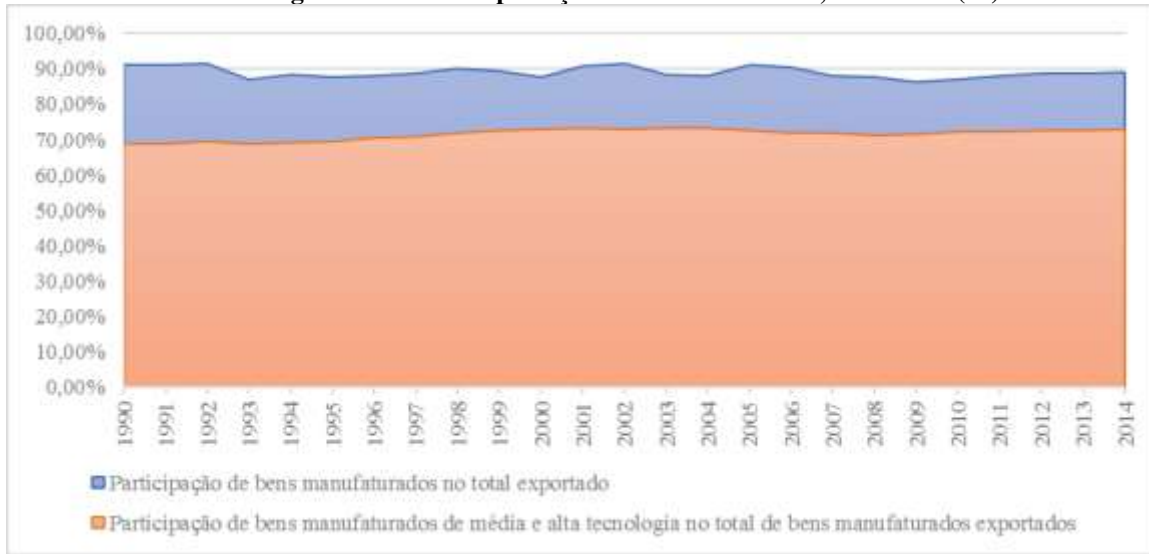
a resiliência da economia alemã permitiu que o país se protegesse melhor do choque externo, voltando a crescer nos anos posteriores (CHANG; ANDREONI; KUAN, 2013; SCHROEDER, 2016).



Fonte: Dados brutos da UNIDO (2017). Elaboração própria (2017).

Adicionalmente, a indústria alemã ocupa posição destacada nas exportações do país, evidenciando sua alta competitividade internacional. Entre 1990 e 2014, a participação dos bens manufaturados no total das exportações da Alemanha permaneceu sempre em torno de 90% e em seu pior desempenho, no ano de 2009, ainda representou expressivos 86,4% do total exportado. A maior parte desse fluxo comercial, por sua vez, é composta por produtos de média e alta tecnologia. O Gráfico 2, abaixo, apresenta ambas as séries. A análise dos dados permite enxergar que não apenas a participação de bens com maior nível tecnológico no total das exportações de manufaturados é alta no país, mas também que houve tendência de crescimento dessa participação entre 1990 e 2014.

**Gráfico 2 - Participação de bens manufaturados no total exportado e de bens manufaturados de média e alta tecnologia no total das exportações de manufaturados, 1990-2014 (%)**

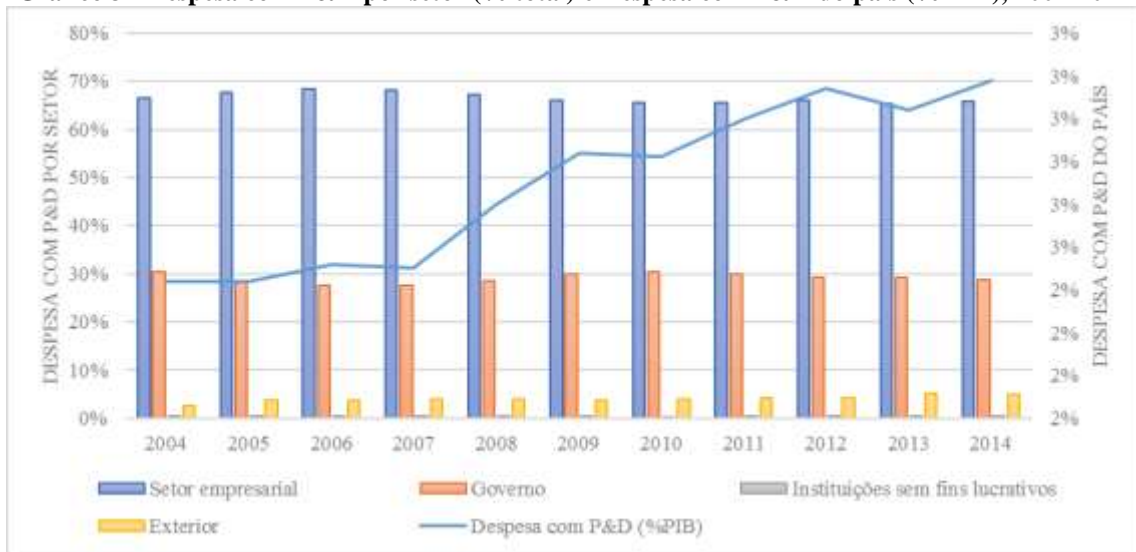


Fonte: Dados brutos da UNIDO (2017). Elaboração própria (2017).

Levando em conta esses dados, segundo o relatório da UNIDO (2016), a Alemanha parece trilhar um caminho desejável pelo lado da produção. O país foi capaz de manter participação da indústria no produto interno bruto (PIB) total, além de aprofundar simultaneamente sua produção e capacidade produtiva no período entre 1990 e 2014. Ao lado de países como Japão e Estados Unidos, a Alemanha tem apresentado competitividade industrial estável e duradoura, resultado da manutenção de vantagens de longo prazo, como indústria de alta tecnologia, boa educação e infraestrutura avançada. Erber (2016) acrescenta que as empresas alemãs se adaptaram bem aos desafios da globalização, posicionando-se em vários países de acordo com suas vantagens comparativas e mantendo a Alemanha como centro das cadeias de valor globais.

O posicionamento vantajoso da Alemanha *vis-à-vis* outros países europeus em relação à transferência de conhecimento e de tecnologia decorre, em grande parcela, da elevada capacidade de inovação de empresas, universidades e institutos de pesquisa. O Ministério Federal de Pesquisa e Educação atribui o desenvolvimento econômico positivo do país aos investimentos feitos no seu sistema de inovação, que garantiram vantagens de capacidade competitiva e de inovação à Alemanha (GERMANY, 2012). O Gráfico 3, abaixo, mostra a evolução, entre 2004 e 2014, da participação das despesas com P&D de cada setor (empresarial, governamental, exterior e privado sem fins lucrativos) em relação ao total despendido, bem como a evolução da despesa com P&D do país em relação ao seu PIB.

**Gráfico 3 - Despesa com P&D por setor (% total) e Despesa com P&D do país (% PIB), 2004-2014**

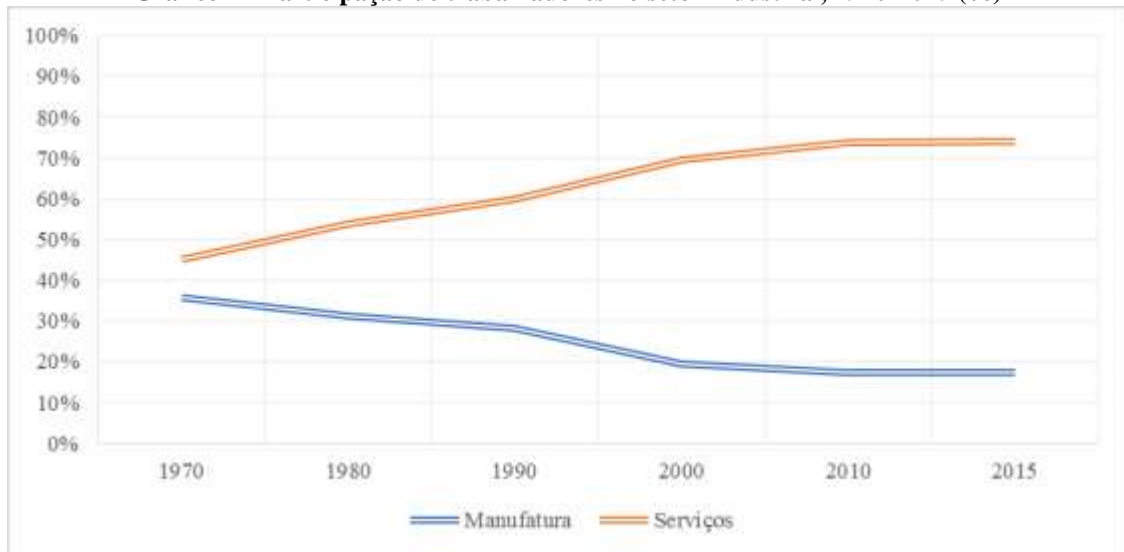


Fonte: Dados brutos da Eurostat (2017). Elaboração própria (2017).

Segundo o Ministério de Pesquisa e Educação (BMBF) (GERMANY, 2012), apesar da crise financeira de 2008-09 e da crise da dívida de 2010, os gastos com P&D na Alemanha cresceram em torno de 20% quando comparado ao ano de 2005. Em relação ao total dos gastos com P&D, nota-se que no período entre 2004 e 2014 houve uma leve redução por parte do setor empresarial, mas que esse ainda representa a maior parcela das despesas com pesquisa e desenvolvimento na Alemanha.

Antes de entrar de fato na discussão sobre a política da Indústria 4.0, vale salientar mais uma característica do setor secundário na Alemanha nos últimos anos: a força de trabalho. Apesar da Alemanha ser hoje um país com forte presença industrial, o número de trabalhadores empregados neste setor tem declinado desde a década de 1970, enquanto a parcela da mão-de-obra absorvida no setor de serviços continua a crescer. Esse movimento não é exclusivo da Alemanha, estando presente também em outros grandes países industrializados, como Estados Unidos, Japão, Coreia do Sul e Suíça. As perspectivas declinantes de emprego no setor secundário condizem com os movimentos de *offshoring* e de digitalização das fábricas nos últimos anos (UNIDO, 2016).

**Gráfico 4 - Participação de trabalhadores no setor industrial, 1970-2015 (%)**



Fonte: baseado em Schroeder (2016).

#### 4.2 INICIATIVAS POLÍTICAS E ATORES: A ESTRATÉGIA ALEMÃ PARA A INDÚSTRIA 4.0

Segundo Schroeder (2016), várias iniciativas simultâneas encabeçadas por órgãos públicos, empresas e organizações científicas compõem a estratégia política da Indústria 4.0 na Alemanha. Tais iniciativas se desdobram em parcial isolamento umas das outras, podendo, contudo, interconectar-se intimamente em algumas subáreas. O relacionamento entre Estado e iniciativa privada – tradição antiga no modelo alemão de indústria corporativa – adquire significado particular na coordenação geral das inovações, desenvolvimento de padrões e criação das infraestruturas requeridas (expansão da banda larga e geração de padrões industriais), além de garantir incentivos financeiros para a implementação da Indústria 4.0.

Diversos ministérios estão intrinsecamente envolvidos em processos que unem múltiplos atores, equipam iniciativas com autoridade pública, provêm suporte financeiro e direcionam os objetivos da Indústria 4.0 através de leis, padrões e arranjos internacionais. O Ministério de Transporte e o Ministério de Infraestrutura Digital, por exemplo, tem atribuições nas áreas de infraestrutura e instalação de banda larga. O Ministério Federal Interior atua na área de segurança de dados, responsabilidade compartilhada com o Ministério Federal da Justiça e Proteção do Consumidor, que ainda possui obrigações relacionadas à proteção dos consumidores (SCHROEDER, 2016).

Como foi explicitado nas seções anteriores, uma mudança na organização industrial na forma e magnitude da Indústria 4.0 teria implicações significativas para a quantidade, qualidade

e qualificação do emprego. Desta forma, o Ministério do Trabalho e Assuntos Sociais desenvolveu uma plataforma direcionada a auxiliar a assimilação dessas transformações – a chamada *Digitale Arbeitswelt*. Essa iniciativa, formada por um grupo de especialistas e agentes sociais, lida principalmente com a flexibilização do trabalho em termos de localização e tempo, educação continuada e padrões de proteção social (SCHROEDER, 2016). Em maio de 2016, a plataforma publicou recomendações sobre a regulamentação do período de trabalho em documento intitulado *Handlungsempfehlungen der Plattform „Digitale Arbeitswelt“ zum orts- und zeitflexiblen Arbeiten*. Em novembro de 2016, foi lançado o *White Paper*, no qual foram identificados quatro objetivos por parte do Ministério do Trabalho: facilitação de transições ao longo da vida; garantir segurança e proteção aos trabalhadores contra demandas prejudiciais em tempo de trabalho e riscos para a saúde; maior autonomia na programação e na escolha da localização do trabalho; e promoção de novos incentivos para melhorar a organização do trabalho. O Ministério não estabeleceu, contudo, legislações sobre estas questões, optando por estabelecer um cenário no qual os agentes sociais possuíssem maior espaço de manobra (KRAEMER, 2017).

Outros dois ministérios exercem papel fundamental na promoção da Indústria 4.0 na Alemanha, liderando a maior parte das políticas realizadas pelo país neste sentido. O primeiro deles, o Ministério Federal de Pesquisa e Educação (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*, BMBF), atua primordialmente no apoio à pesquisa na área da Indústria 4.0. O segundo, o Ministério de Economia e Energia (*Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*, BMWi), atua nas áreas de apoio à indústria, sindicatos e plataformas (SCHROEDER, 2016).

Em 2006, o lançamento da “*High-Tech Strategy*” indicou os primeiros passos do Estado alemão para juntar atores importantes do setor de tecnologia e inovações-chave em um plano nacional cujo propósito era avançar na direção de novas tecnologias. A “*High-Tech Strategy 2020*”, lançada em julho de 2010, deu continuidade e aprofundou a estratégia inicial, pretendendo criar mercados líderes, intensificar parcerias entre os setores de ciência e indústria e melhorar as condições gerais de inovação do país. Para tal, foram elencados cinco campos de atuação: clima e energia, saúde e nutrição, mobilidade, segurança e, por fim, comunicação. Para a implementação efetiva dessa estratégia foi estabelecido, em 2012, o “*High-Tech Strategy Action Plan*”. Neste plano de ação, foram identificados dez “Projetos Futuros” considerados cruciais para a abordagem e realização dos objetivos da política de inovação – dentre eles a *INDUSTRIE 4.0* (MACDOUGALL, 2014).

Com orçamento de até 200 milhões de euros, o projeto *INDUSTRIE 4.0* (inicialmente) objetivava facilitar a criação de novos modelos de negócio e otimizar a logística e produção industrial. Sob a responsabilidade do Ministério de Pesquisa e Educação e do Ministério de Assuntos Econômicos e de Energia, o projeto propunha a exploração de pontos cruciais da ‘fábrica inteligente’, tais como sistemas de produção inteligentes e criação de instalações de produção distribuídas e conectadas, além de abordar pontos tais como interações entre humanos e máquinas e aplicações industriais de tecnologias 3D. Contando com o apoio da *Industry-Science Research Alliance*, a proposta buscava, ainda, encorajar a participação das pequenas e médias empresas (PMEs) no papel de ofertantes e utilizadoras de métodos de produção “inteligentes” (GERMANY, 2012).

Em 2014, o governo federal lançou mais uma atualização para sua estratégia de inovação (“*New High-Tech Strategy*”), na qual a continuação do desenvolvimento da Internet das Coisas para a produção industrial passou a incluir o programa “*AUTONOMIK für INDUSTRIE 4.0*” (GERMANY, 2014). As áreas prioritárias desse programa de desenvolvimento de tecnologias contam com o desenvolvimento de novos passos evolucionários para máquinas, robôs e outros sistemas capazes de transitar de um controle mecânico baseado em tecnologias de informação e comunicação (TICs) para componentes que atuem autonomamente e sistemas que conduzam uma nova era na qual eficiência, custo-efetividade e qualidade cresçam a partir de uma infraestrutura flexível de produção (MACDOUGALL, 2014).

A *INDUSTRIE 4.0* é composta por uma miríade de atores e instituições. O centro alemão de pesquisa para inteligência artificial (*Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz*, DFKI), por exemplo, é uma entidade sem fins lucrativos baseada em parceria público-privada que desempenha importante papel no desenvolvimento da Indústria 4.0. O DFKI foi o primeiro a comprovar a viabilidade do conceito em laboratório e, posteriormente, a demonstrar como esse conceito funciona na prática através de uma pequena fábrica em *Kaiserslautern*, construída em cooperação com vinte parceiros dos setores de pesquisa e da indústria (BLAU, 2014). Este centro ainda é responsável por projetos como o “*RES-COM*” e “*SmartF-IT*”, ambos financiados pelo Ministério de Pesquisa e Educação. Enquanto o primeiro examina a conservação automatizada de recursos, o segundo analisa sistemas de TI ciberfísicos a fim de dominar a complexidade de uma nova geração de fábricas multi-adaptativas (MACDOUGALL, 2014).

Outra organização sem fins lucrativos inserida no contexto da Indústria 4.0 é a Fraunhofer-Gesellschaft. Esta instituição de pesquisa, fundada em 1949, atua desde 2012 com

parceiros industriais no desenvolvimento de capacidades administrativas altamente flexíveis para a auto-organização (MACDOUGALL, 2014).

MacDougall (2014) também salienta a participação do *Industry-Science Research* no contexto da *INDUSTRIE 4.0*. O grupo, que conta com a participação de 19 representantes da ciência e da indústria, foi fundado pelo Ministério de Pesquisa e Educação em 2006 para acompanhar as iniciativas interministeriais de políticas de inovação enquadradas na *High-Tech Strategy*. Em parceria com a *acatech* – representante dos interesses das comunidades científica e tecnológicas na Alemanha -, foi responsável pelo estabelecimento do *INDUSTRIE 4.0 WORKING GROUP* e, conseqüentemente, pela publicação do relatório de recomendações para a implementação dessa iniciativa estratégica ainda em 2012.

Três associações - BITKON, VDMA (*Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau*) e ZVEI (*Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie*)<sup>9</sup>, agindo a partir dessas recomendações de continuação e aprofundamento do desenvolvimento do projeto *INDUSTRIE 4.0* criaram um acordo de cooperação denominado *Plattform INDUSTRIE 4.0*. Lançada oficialmente em abril de 2013, na Hannover Messe, a plataforma busca responder como a Alemanha pode se tornar fornecedor líder de equipamentos fabris, aumentar sua competitividade como produtor e beneficiar a esfera do trabalho, além de elucidar qual papel o país pode desempenhar no estabelecimento dos padrões da Indústria 4.0 (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2017). De acordo com o Ministério de Assuntos Econômicos e Energia (GERMANY, 2015), o princípio orientador da plataforma é a predominância da cooperação entre os agentes envolvidos em um quadro pré-competitivo para a definição conjunta de um plano de ação para política, ciência, empreendedorismo e sindicatos que apoia decisivamente o poder inovador da indústria na Alemanha e sustentar a implementação da Indústria 4.0.

Para atingir esses ambiciosos objetivos, a atividade técnica da Plataforma Indústria 4.0 se baseia em pesquisas e operações comerciais para identificar a necessidade de ações e de recomendações para o melhor quadro político possível. Cinco grupos de trabalho, divididos por temáticas, observam e conduzem discussões relacionadas ao futuro das áreas de padronização e normas, segurança de sistemas integrados, condições para estruturas legais, pesquisa e

---

<sup>9</sup> Bitkom, fundada em 1999 em função da fusão de duas associações industriais em Berlim, é a associação digital alemã. A instituição representa mais de 2400 empresas na economia digital (BITKOM, 2017). VDMA representa os interesses financeiros, técnicos e científicos da indústria de engenharia mecânica da Alemanha, especialmente em relação a autoridades nacionais e internacionais e grupos de negócios (VDMA, 2017). Por fim, o ZVEI representa os interesses de setores com elevado nível tecnológico e uma ampla gama de produtos dinâmicos, sendo considerada a associação industrial mais importante da Alemanha (ZVEI, 2017).

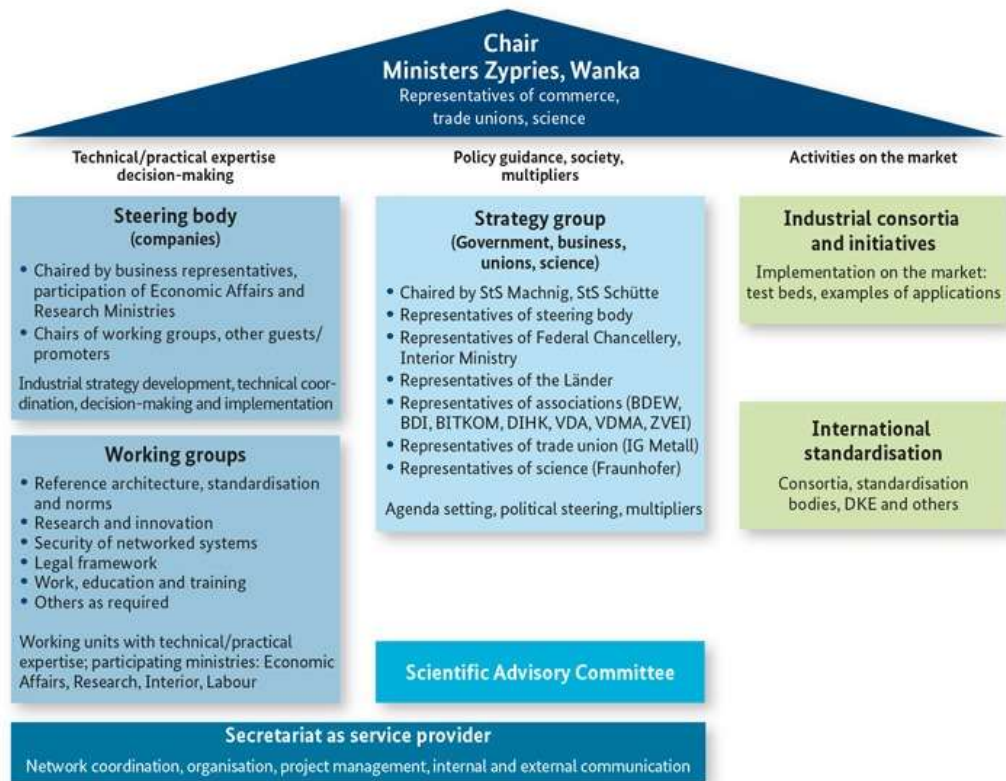
inovação e arranjos de trabalho, treinamentos e formação educacional complementar (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; GERMANY, 2017).

Em 2015, esta iniciativa foi ampliada, com a entrada de novas empresas, associações, sindicatos, agentes do setor científico e da política (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2017; SCHROEDER, 2016). A Figura 2 abaixo ilustra a estrutura organizacional da Plataforma Indústria 4.0. Conforme tal configuração, a Plataforma Indústria 4.0 é governada e dirigida pelo Ministério de Assuntos Econômicos e de Energia e pelo Ministério de Pesquisa e Educação conjuntamente com representantes de alto nível de sindicatos, empresas e organizações científicas. Os três pilares que sustentam a plataforma são *expertise* técnica, que auxilia na tomada de decisões; guia político, que identifica questões relevantes, serve como um multiplicador para os resultados e garante que estes atinjam os vários grupos-alvo da sociedade; e ações no mercado, tanto no nível nacional quanto no internacional (GERMANY, 2017).

O grupo responsável pelo direcionamento dos representantes empresariais coordena e orienta todas as atividades dos grupos de trabalho, sendo responsável pelo desenvolvimento da estratégia industrial, coordenação técnica, tomada de decisões e implementação. Esse grupo conta também com a participação dos Ministérios de Economia e Energia e de Pesquisa e Educação, sendo igualmente composto por representantes do grupo de direção, da Chancelaria Federal, representantes dos *Länder*, de associações, sindicato e comunidade acadêmica, bem como outros ministérios considerados importantes neste cenário, como o Ministério Interior (GERMANY, 2017).



Figura 2 - Estrutura organizacional da *Plattform INDUSTRIE 4.0* em 2017



Fonte: Plattform Industrie 4.0 (2017).

As chamadas atividades no mercado podem ser divididas em duas categorias. A primeira delas diz respeito à padronização internacional. Como aludido no Capítulo 2, a mudança na forma de produção industrial discutida até aqui está fortemente fundamentada na possibilidade da troca de dados ao longo de uma cadeia de valor integrada tanto nacional quanto internacionalmente. Neste sentido, a Plataforma Indústria 4.0 tem promovido paralelamente às ferramentas de impacto nacional diversas colaborações internacionais baseadas em consórcios, grupos que buscam a elaboração de padrões, entre outros (GERMANY, 2016).

A plataforma estabeleceu com o *Industrial Internet Consortium (IIC)*, dos Estados Unidos, um acordo de cooperação focado na criação de padrões comuns, harmonização das respectivas arquiteturas de referência e realização de *testbeds*<sup>10</sup> em conjunto. São características similares àquelas estabelecidas pela cooperação com a *Japanese Robot Revolution Initiative*, do Japão. A colaboração com a França, iniciada em outubro de 2015, resultou até o momento em acordos referentes a grupos de trabalho e projetos em comum nas áreas de tecnologia,

<sup>10</sup> No contexto da Indústria 4.0, referem-se a ambientes realistas, complexos e interconectados onde os agentes podem testar seus desenvolvimentos mais recentes e se preparar para a produção real (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2017).

padronização, testagem de infraestruturas, casos de utilização e educação. Além disso, a cooperação franco-germânica auxilia na definição de iniciativas da Comissão Europeia. Já com a China, a plataforma tem um acordo para intensificar a cooperação na área da Indústria 4.0 (GERMANY, 2016).

A segunda categoria, consórcios e iniciativas industriais, concentra-se na implementação da Indústria 4.0 no mercado, isto é, diz respeito às práticas de transferência da Plataforma, promovendo a criação de novos meios para facilitar o acesso dos agentes aos *testbeds* e apresentando quais medidas já foram desenvolvidas nos níveis político e comercial até então (SCHROEDER, 2016; GERMANY, 2016). Neste contexto, o Ministério de Pesquisa e Educação estabelece financiamentos para a testagem de inovações em componentes para as pequenas e médias empresas em *testbeds* designados. Para aconselhar e direcionar as PMEs interessadas nesta prática para uma das 500 localizações possíveis, o Ministério de Pesquisa e Educação estabeleceu um contato central e um escritório coordenador na Universidade de Stuttgart (GERMANY, 2016).

A iniciativa “*Labs Network Industrie 4.0*” foi criada por empresas e associações da Plataforma para acompanhar essas políticas governamentais. Seu objetivo é fornecer informação apropriada aos agentes interessados, apoiando as empresas nos estágios iniciais dos projetos de Indústria 4.0 e compilando e processando resultados de *testbeds* em estruturas competitivas relevantes como os campos da padronização e da cooperação internacional (GERMANY, 2016).

Fechando a estrutura da Plataforma da Indústria 4.0 ainda se tem o Comitê Científico Consultivo e o Secretariado, compostos, respectivamente, por representantes preeminentes de organizações científicas relevantes no contexto da Indústria 4.0 e por um corpo de agentes que atuam independentemente da plataforma. O comitê fornece *inputs* nas estratégias e agendas de pesquisa, além de identificar instituições de pesquisa para implementar ativamente essas estratégias e agendas. O secretariado, por sua vez, funciona como ponto central de contato, coordenando cooperações, comunicações internas e externas, e os diferentes comitês, funcionando, também, como uma porta de entrada para outras iniciativas nacionais e internacionais (GERMANY, 2016).

Em 2016, aproximadamente um ano após as alterações da estrutura da Plataforma Indústria 4.0, foi lançado o primeiro relatório apresentando os resultados desse trabalho e as novas discussões que estão sendo postas. O Grupo de Trabalho 1, responsável pela coordenação das atividades de padronização nacional e compilação do trabalho das diversas partes

interessadas, apresentou um dos resultados mais concretos até o momento. O grupo desenvolveu e definiu o "*Reference Architecture Model of Industrie*" (RAMI 4.0), que representa a primeira compilação dos elementos tecnológicos essenciais da Industrie 4.0 em um modelo uniforme. Essa ferramenta fornece uma estrutura de orientação uniforme a empresas de diferentes ramos e, dependendo do cenário de uso particular e da solução, permite a identificação de padrões relevantes. Se um padrão adequado não estiver disponível, o RAMI também é capaz de identificar as lacunas visando a aprimoramentos futuros. Por iniciativa do grupo de trabalho, o modelo de arquitetura de referência RAMI 4.0 foi certificado e publicado (GERMANY, 2016).

Após a conversão do RAMI 4.0 para um padrão, o próximo passo levará, de acordo com o Ministério de Assuntos Econômicos e Energia (BMWi) (GERMANY, 2016), à distribuição contínua e à aplicação desta ferramenta nas práticas industriais. Para que isso ocorra é necessário aprofundamento da cooperação com projetos internacionais, buscando simplificar o acesso das empresas alemãs aos conselhos internacionais de padronização e consórcios. Esta tarefa foi assumida pelo "Conselho de Normalização I4.0", fundado e financiado pelas associações industriais bitkom, VDMA e ZVEI em conjunto com DIN e DKE.

A tarefa do segundo grupo de trabalho é analisar quais são os focos de pesquisa e inovação necessários para a modelagem da *Industrie 4.0*, traduzindo-se em recomendações sobre tecnologias-chave neste contexto e medidas necessárias para promover a transferência de tecnologia em todo o setor empresarial. Os chamados Cenários de Uso da Industrie 4.0, produzidos em colaboração com outros grupos de trabalho, funcionam como base para a identificação de necessidades de pesquisa. Com alicerce no roteiro de pesquisa estabelecido pela plataforma, os cenários foram sistematicamente analisados em relação aos campos tecnológicos disponíveis e aqueles que ainda precisam ser desenvolvidos. Como resultado disso, cinco áreas foram identificadas e priorizadas para a futura implementação dos cenários: negociação e conclusão de contratos em redes automatizadas de criação de valor; engenharia de sistemas para sistemas modificáveis; indústria de rede social; Logística 4.0; e vocabulário para a Indústria 4.0 (GERMANY, 2016).

A segunda área de atuação do grupo dois envolve a identificação de obstáculos à inovação e, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de medidas que promovam a implementação da *Industrie 4.0*, especialmente nas PMEs. Daí foi identificado como decisivo que se parta de medidas de baixo limiar – entendido como o limiar de resistência à transformação – para a implementação inicial dos modelos de produção fundados em processos digitais. Nisso reside

um determinante da aceleração da transferência dinâmica das mudanças na produção às PMEs. Nesse contexto, a associação "*Labs Network Industrie 4.0*" foi fundada como um ponto de contato central para os usuários, com apoio adicional às PMEs fornecido por um programa do Ministério Federal de Educação e Pesquisa. As PMEs recebem apoio nas etapas de teste e avaliação de componentes inovadores para a *Industrie 4.0* em *testbeds* localizados em universidades e instituições de pesquisa (GERMANY, 2016).

O grupo de trabalho responsável pela pesquisa na área de segurança de sistemas de redes, por sua vez, criou um guia introdutório que auxilia na determinação do *status quo* das companhias e na identificação de quais passos seguir. No contexto da Indústria 4.0, a identificação dos parceiros de comunicação (pessoas, máquinas ou produtos) deve ser completamente assegurada, o mesmo valendo para a troca de dados dentro de uma rede. Nas publicações '*Secure Identities*' e '*Secure Communication*', o grupo de trabalho compilou uma visão geral dos elementos essenciais para um desenvolvimento confiável das redes de criação de valor, fazendo, nessas bases, recomendações ao Estado e ao setor empresarial para o estabelecimento de tais redes. As várias vertentes foram então reunidas em um guia com o título '*Introducing IT Security to Industrie 4.0 for SMEs*', que explica os riscos envolvidos na comunicação entre empresas e auxilia pequenas e médias empresas na implementação segura da Indústria 4.0 (GERMANY, 2016).

Sob o "*Legal Framework*", o quarto grupo de trabalho examina cinco pontos principais no contexto da *Industrie 4.0*, tanto na perspectiva legal alemã quanto na europeia. Esses pontos são: direito civil e direito do procedimento civil, lei de segurança de TI e lei de proteção de dados, lei de responsabilidade do produto e lei de segurança do produto, lei de propriedade intelectual e direito do trabalho. Ainda não está claro quais são os princípios que devem governar alguns dos problemas de escopo jurídico na Indústria 4.0 (GERMANY, 2016).

O último grupo de trabalho concentra seus esforços nas questões relacionadas ao funcionamento e aprendizado dos indivíduos na *Industrie 4.0*. Concretamente, o grupo deve identificar os desafios atuais e as ações necessárias nas áreas de estágios e educação continuada a fim de preservar e fortalecer a produtividade e competitividade das empresas no futuro e melhorar as condições de trabalho, o desenvolvimento profissional, oportunidades e perspectivas de emprego. Em conjunto ao progresso desses temas, também estão sendo consideradas as tendências demográficas. O grupo identificou a necessidade de implementação dos seguintes passos: identificação de exemplos de negócios, instrumentos, métodos e melhores práticas; identificação dos impactos da *Industrie 4.0* sobre trabalho e qualificações; elaboração

de recomendações para a ação nas áreas de papéis, funções e perfis de trabalho, estruturação e organização do trabalho e qualificações, estágios e educação contínua (GERMANY, 2016).

Mais recentemente, a partir de 2016, o Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia passou a fomentar a *Digital Strategy 2025*, na qual apresenta as prioridades estabelecidas, o desenvolvimento de capacitações e a utilização de novas ferramentas para transformar a Alemanha em uma nação digital. De forma análoga à *High-Tech Strategy*, o ministério desenvolveu objetivos a serem cumpridos em áreas-chave, bem como medidas específicas a serem implementadas para alcançar esses objetivos (GERMANY, 2016). No contexto dessa estratégia, a Indústria 4.0 será fomentada direta e indiretamente.

Alguns dos objetivos estabelecidos pela *Digital Strategy 2025*, bem como os instrumentos elencados para alcançá-los, devem impactar a Indústria 4.0 de forma indireta. É o caso da ampliação da rede de fibra óptica, que deve melhorar as condições de uso da Internet para as PMEs, e do projeto de auxílio para a criação de novos modelos de negócios para PMEs. Adicionalmente, o fortalecimento de segurança de dados e desenvolvimento de autonomia informacional, e a introdução de um planejamento de educação digital que visa adaptar o sistema dual de treinamento profissional às demandas da economia digital também devem impactar a implementação da Indústria 4.0 no país (GERMANY, 2016).

A estratégia digital do Ministério de Economia e Energia também planeja fomentar a Indústria 4.0 de forma direta. O órgão governamental identificou que, apesar do enorme potencial de criação de valor adicionado introduzido pela digitalização da indústria<sup>11</sup>, somente seis em cada dez empresas na Alemanha estão de fato preparadas para a Indústria 4.0. Desta forma, ainda há necessidade de apoio para a implementação dessa mudança de produção. Além de reforçar os programas estabelecidos pelos grupos de trabalho da Plattform Industrie 4.0, a *Digital Strategy 2025* também propõe coordenação com as medidas direcionadas às PMEs para estimular conscientização e fornecer informação e investimentos financeiros no âmbito da Indústria 4.0. A estratégia prevê, ainda, a introdução de um projeto de financiamento de microeletrônica, composto por um projeto de pesquisa e inovação para o setor em nível europeu e pela contribuição de um bilhão de euros em subsídios governamentais entre 2017 e 2019 (GERMANY, 2016).

---

<sup>11</sup> A digitalização da indústria pode resultar na adição de 425 bilhões de euros no valor agregado da Alemanha. Nos próximos cinco anos, a previsão é que as indústrias automotiva, de engenharia mecânica, de processamento, eletrônicos e das TIC sejam as maiores beneficiadas, com crescimento da receita de, respectivamente, 13,6%, 13,2%, 8,1%, 13% e 13,4% (BMW, 2016).

Em suma, a *Industrie 4.0* insere-se em um contexto amplo de promoção de pesquisa e inovação, entendidos como força-motora do crescimento sustentável na Alemanha. Considerando a tradição, datada no mínimo da década de 1960, de promoção de políticas de apoio ao desenvolvimento tecnológico, a introdução da *High-Tech Strategy*, em 2006, e de suas posteriores atualizações, deve ser compreendida como uma tentativa de melhor coordenação dos instrumentos de política entre os ministérios envolvidos.

O projeto *Industrie 4.0* é caracterizado por uma pluralidade de atores, envolvendo ampla gama de ministérios e agências públicas, além de representantes do setor empresarial, do mercado de trabalho e da área da ciência. Desta forma, a diretriz da *Industrie 4.0* mantém a tradição alemã de promoção de política industrial cooperativa, representada explicitamente pela *Plattform Industrie 4.0*. Através dessa plataforma são realizadas ações que buscam reunir *expertise* técnica através de pesquisas e operações de mercado, além de facilitar e acelerar a implementação comercial dos resultados dessas ações. A plataforma também realiza esforço na direção da coordenação de medidas nacionais e internacionais.

A *Industrie 4.0* também é caracterizada pela forte presença do governo federal, especialmente na promoção das infraestruturas necessárias para a transição bem-sucedida do paradigma. Medidas horizontais, como o fortalecimento da educação digital, a garantia de segurança digital e a ampliação da rede de fibra óptica, consolidam os fundamentos para a adoção da Indústria 4.0. Adicionalmente, medidas verticais, como o financiamento ao setor microeletrônico através do Ministério de Assuntos Econômicos e Energia e a contribuição do Ministério de Pesquisa e Educação com projetos relacionados diretamente à Indústria 4.0, também estão sendo executadas. A *Industrie 4.0* também tem um forte viés para a alocação de fundos promocionais explicitamente para as pequenas e médias empresas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos ganhou relevo o debate sobre a mudança desencadeada por tecnologias como *Big Data*, Sistemas Ciberfísicos, manufatura aditiva, entre outras. A aplicação dessas tecnologias à indústria, designada principalmente como *Industrial Internet (of Things)*, *Smart Manufacturing* ou *Industry 4.0*, tem recebido especial atenção. Presume-se que isso resultaria em uma cadeia de valor na qual as tecnologias digitais e a Internet atuariam em conjunto com a indústria tradicional.

Assentado na teoria neoschumpeteriana e em suas contribuições para a caracterização da importância da inovação para o desenvolvimento socioeconômico, este trabalho procurou explicitar que a Indústria Digital está inserida no contexto das mudanças produtivas globais. Radicada em algumas limitações e em algumas necessidades que podem ser identificadas no atual paradigma de produção, supõe-se que o seu desenvolvimento e a sua disseminação marcam um presumível período de transição de paradigma, do qual defluem um novo perfil qualitativo da força de trabalho, novo *mix* de produtos, novos modelos de negócio e novos padrões de consumo.

Em princípio, a mudança fundamental resultante da introdução de Sistemas Ciberfísicos e da Internet das Coisas e dos Serviços no ambiente produtivo afeta diretamente a fábrica. Esse é seu campo de expressão imediato. Porém, se este processo vier a se desdobrar em todas as suas possibilidades, replicando o que a história da evolução da indústria a partir do século XVIII nos ensinou, a conjectura de que os movimentos de modificação da indústria extrapolem os seus muros não é desprezível. Embora prematura, a compreensão desse fenômeno como a primeira manifestação de um novo paradigma tecnoeconômico não deve ser descartada.

Dado o caráter recente do tema e sua natureza, a qual, por tratar de inovações, é inerentemente envolta em incerteza, não é possível dimensionar com precisão os impactos para a sociedade decorrentes da Indústria Digital. Caso as previsões se confirmem, o resultado deve ser uma rede global de produção industrial altamente integrada, na qual diversas empresas conectam-se não somente ao longo da sua produção interna, mas também com todos os outros agentes da cadeia de valor, dando lugar a uma produção industrial alicerçada na customização em massa e capaz de empregar eficientemente os recursos produtivos.

Como foi mostrado nesse trabalho, a Alemanha tem fomentado a implementação dessas mudanças na produção como forma de manter a sua competitividade global e assegurar o nível de bem-estar do país no longo prazo. O incentivo para isso tem se traduzido em políticas

governamentais de pesquisa e tecnologia e em colaborações sistemáticas entre Estado, agentes corporativos e sociedade civil. Neste cenário, o Estado nacional alemão mantém seu histórico papel como ator-chave na implementação da política industrial.

O Estado tem atuado fortemente como um facilitador, apoiando instituições e políticas que impactam a indústria como um todo, especialmente coordenando ações e projetos de incentivo à educação e às atividades de pesquisa e desenvolvimento. O projeto *Industrie 4.0*, componente fundamental dessa ação, conta, ainda, com medidas específicas centradas em estimular a adoção e a disseminação de determinadas tecnologias consideradas cruciais nesse novo panorama. Incentiva também setores fundamentais para o desenvolvimento de Sistemas Ciberfísicos e da Internet das Coisas e dos Serviços. Adicionalmente, o país vem dedicando especial atenção às pequenas e médias empresas, consideradas a espinha dorsal de sua exportação industrial.

Os resultados dessas medidas são, até o presente momento, incipientes. A criação do modelo de arquitetura de referência da indústria (RAMI 4.0) representa, no entanto, um importante passo para a implementação da Indústria 4.0. Os acordos bilaterais estabelecidos com países desenvolvidos, como Estados Unidos e Japão, também se contam dentre os sucessos da política.

A estratégia de produção baseada na manufatura inteligente ainda está em seus primórdios, devendo ser desdobrada passo a passo nos anos vindouros. Daí não surpreender a constatação da existência de limitações à avaliação dos resultados da implementação desse programa na Alemanha. Deste modo, sugere-se que trabalhos futuros avaliem essa política industrial e de inovação, atentando às dificuldades em associar mudanças observadas no objeto de análise com a política implementada e atentando aos seus impactos indiretos no resto da economia. O quadro avaliativo também precisa ponderar a existência de efeitos de longo prazo que surgem de dinâmicas cumulativas, como, por exemplo, a necessidade de tempo para que as firmas criem suas capacitações ou alterem o nível de suas tecnologias após a execução de uma política industrial. Recomenda-se, portanto, a avaliação da política industrial através de uma pluralidade de ferramentas quantitativas e qualitativas, com a ressalva de que tais resultados devem ser recebidos com cautela.

Seja como for, a abordagem do Estado nacional alemão em relação à PI pode ser considerada abrangente. Tanto o programa *Industrie 4.0* quanto a *High-Tech Strategy*, na qual ele se insere, representam incentivos através dos quais o Estado colabora com diferentes agentes para o desenvolvimento da indústria nacional. De outra parte, por se tratar de uma república



efetivamente federativa, a Alemanha também pratica programas descentralizados, podendo-se encontrar diversos projetos regionais para políticas industriais nas *Länder*. Essa dimensão da PI alemã não foi escopo deste trabalho, sugerindo-se, portanto, pesquisas futuras acerca da implementação da Indústria 4.0 nas diferentes regiões alemãs.

Por fim, levanta-se um questionamento sobre as possíveis lições da experiência alemã para o Brasil. Um dos principais fatores de sucesso da política industrial da Alemanha é a estreita cooperação entre as instituições governamentais, os conjuntos de representantes dos trabalhadores e das ciências, além dos agentes da indústria. Tomadas as devidas precauções contra a captura regulatória das instituições governamentais pelos representantes da indústria, uma medida de promoção das fábricas inteligentes no Brasil deve seguir esse modo de cooperação, visando, principalmente, a promoção de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias.

A coordenação horizontal entre os vários ministérios envolvidos tanto na *Industrie 4.0* propriamente dita, quanto na estratégia de promoção de alta tecnologia na qual essa se insere, deve ser seguido como uma lição para uma possível articulação de política industrial e de inovação que vise à implementação da Indústria Digital em nosso país. Daí decorre a importância de elaborar ferramentas que promovam também as esferas da infraestrutura necessária para esse processo – como a ampliação e melhoria da rede de Internet – e de educação dos trabalhadores em todas as etapas da vida, desde a educação primária até os trabalhadores atuantes.

Para ser bem-sucedida, a política industrial destinada à Indústria Digital deve ser compreendida como um processo aberto e contínuo que inclui todos os grupos relevantes na sociedade e se fundamenta, essencialmente, na identificação da pesquisa e inovação como as forças motoras do crescimento sustentável e abrangente. Dessa forma, a implementação da Indústria Digital traduz-se em um processo de longo prazo, no qual a persistência nos seus objetivos e a aplicação de medidas de acompanhamento, revisão e redefinição são elementos-chave.

## REFERÊNCIAS

- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16-21. 2016.
- BITKOM, **Über uns**. Disponível em: < <https://www.bitkom.org/Bitkom/Ueber-uns/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.
- BLANCHET, M. *et al.* **Think Act: Industry 4.0**. Monique: Roland Berger Strategy Consultants, 2014.
- BLAU, J. Revolutionizing industry the German way. **Research-technology Management**, Düsseldorf, v. 57, n. 6, p.2-3, 2014.
- BRETTEL, M. *et al.* How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p.37-44, 2014.
- CARDOSO, J.; VOIGT, K.; WINKLER, M. Service Engineering for The Internet of Services. **Enterprise Information Systems**, v. 19, p. 15–27. 2009.
- CASSIOLATO, J. SZAPIRO, M. Novos objetivos e instrumentos de política de desenvolvimento industrial e inovativo em países selecionados. **Estudos Temáticos**. Rio de Janeiro, Nota Técnica 13, 2000.
- CHANG, H.-J.; ANDREONI, A.; KUAN, M. L. **International industrial policy experiences and the lessons for the UK**. London: Government Office of Science, 2013.
- CONCEIÇÃO, O. A. C. A centralidade do conceito de inovação tecnológica no processo de mudança estrutural. **Ensaio FEE**, 2000. v. 21, n. 2, p. 58–76.
- COSTA, A. C. **Política de inovação brasileira: análise dos novos instrumentos operados pela Finep**. 2013. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- DAVIES, R. **Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth**. Disponível em: < [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS\\_BRI\(2015\)568337\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- DELGADO, I. G. Variedades de Capitalismo e Política Industrial: O Caso Brasileiro em Perspectiva Comparada. **XXI Jornadas de História Econômica**, p. 23–26, 2008.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. **Research Policy**, v. 11, p. 147–162, 1982.
- DOSI, G. The nature of the innovative process. In: DOSI, G. *et al.* (eds). **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988. p. 221-238.

ERBER, G. Industrial policy in Germany after the global financial and economic crisis. **Ssrn Electronic Journal**, [s.l.], p.1-38, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2756963>.

EUROSTAT, 2017. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>>. Acesso em 30 de junho de 2017.

EVANS, P. C.; ANNUNZIATA, M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. **General Electric**, p. 37, 2012.

FERRAZ, J.C.; DE PAULA, G; KUPFER, D. Política industrial. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (org.). **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002. p. 545-567.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: DOSI, G *et al.* (eds.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988, p. 38-66.

GERMANY. Federal Ministry of Education and Research (BMBF). **Federal Report on Research and Innovation 2012**. Berlin: BMBF, 2012.

GERMANY. Federal Ministry of Education and Research (BMBF). **The new High-Tech Strategy Innovations for Germany**. Berlin: BMBF, 2014.

GERMANY. Federal Ministry for Economic Affairs and Every (BMWi). **Plattform Industrie 4.0. Progress Report**. Berlin: BMWi, 2015.

GERMANY. Federal Ministry for Economic Affairs and Every (BMWi). **Digital Strategy 2025**. Berlin: BMWi, 2016.

GERMANY. Federal Ministry for Economic Affairs and Every (BMWi). **Plattform Industrie 4.0. Plattform Industrie 4.0: digital transformation “Made in Germany”**. Berlin: BMWi, 2017.

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK – HBM, **Aplicações**. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/5504/aplicacoes/>>. Acesso em: 3 de junho de 2017.

INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM-ICC, **Home**. Disponível em: <<http://www.iiconsortium.org>>. Acesso em 15 de junho de 2017.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. Overview of the Internet of things. **Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks - Frameworks and functional architecture models**. 2012.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Abril 2013. Disponível em: <<http://www.acatech.de>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

KRAEMER, B. **Germany: Labour Minister launches White Paper on the future of work**. 2017. Disponível em:

<<https://www.eurofound.europa.eu/observatories/eurwork/articles/germany-labour-minister-launches-white-paper-on-the-future-of-work>>. Acesso em: 27 maio 2017.

KUHLMANN, S. Lógicas e evolução de políticas públicas de pesquisa e inovação no contexto da avaliação. In: CGEE. **Avaliação de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação: diálogo entre as experiências internacionais e brasileiras**, p. 45-74. Brasília, 2008.

LA ROVERE, R. Paradigmas e trajetórias tecnológicas. In: PELAEZ, V., SZMRECSÁYI, T. (org.). **Economia da inovação tecnológica**. São Paulo: HUCITEC, 2006. p. 285-301.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242. 2014.

LICHTBLAU, K. *et al* (Comp.). **Industrie 4.0 Readiness**. Aachen: Cologne Institute for Economic Research, 2015.

MCKINSEY. **Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector**. [S.l]: McKinsey & Company, 2015.

NAUDÉ, W. **Industrial policy: old and new issues**. 106. ed. Helsinki: UNU-WIDER, 2010. (Working Paper).

NAUDÉ W; SZIRMAI, A. **The importance of manufacturing in economic development: past, present and future perspectives**. 41 ed. Maastricht: UNU-WIDER, 2012. (Working Paper).

ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Background Report**. The Internet of Things: seizing the benefits and addressing the challenges. Paris: OECD, 2016.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Industrial Development Report 2016**. The role of technology and innovation in inclusive and sustainable industrial development. Viena: United Nations Industrial Development Organization, 2016.

PERES, W.; PRIMI, A. **Theory and practice of industrial policy**. evidence from the Latin American experience. Santiago de Chile: CEPAL, 2009.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Cambridge Journal of Economics**, n. 34, p. 165-202. 2009.

PINDYCK, R; RUBINFELD, D. Externalidades e bens públicos. In: PINDYCK, R; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010, p. 575-606.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, **Plattform**. Disponível em: < <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Plattform/plattform.html>>. Acesso em 05 de maio de 2017.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, 2016.

SCHEER, A-W. **Industry 4.0**: from vision to implementation. Setembro 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/281447305\\_Whitepaper\\_-\\_Industry\\_40\\_From\\_vision\\_to\\_implementation](https://www.researchgate.net/publication/281447305_Whitepaper_-_Industry_40_From_vision_to_implementation)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SCHROEDER, W. **Germany's Industry 4.0 strategy**: Rhine capitalism in the age of digitalisation. London: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2016.

SCHWAB, K. The fourth industrial revolution: what it means and how to respond. **Foreign Affairs**, dez. 2015. Disponível em: <<https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>>.

SHARP, M. Industrial Policy and European Integration: lessons from experience in Western Europe over the last 25 years. **Centre for the Study of Economic and Social Change in Europe Working Paper No. 30**, University College, London. 2001.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Política industrial e desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 26, n. 102, p. 163–185, 2006.

UNIDO, 2017. Disponível em: <<http://www.unido.org/resources/statistics/statistical-databases.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2017.

VDMA, **Über uns**. Disponível em: <<http://www.vdma.org/ueber-uns>>. Acesso em 12 de junho de 2017.

VIOTTI, E. B. Brasil: de política de C&T para política de inovação? Evolução e desafios das políticas brasileiras de ciência, tecnologia e inovação. In: CGEE. **Avaliação de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação**: diálogo entre as experiências internacionais e brasileiras, p. 137-175. Brasília, 2008.

VITOLS, S. German industrial policy: an overview. **Industry and Innovation**, v. 4, n. 1, p. 15–36. 1997.

WANG, S. *et al.* Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n.1, p.1-10. 2016.

WARWICK, K. **Beyond Industrial Policy**: Emerging Issues and New Trends. 2. ed. Paris: OECD Publishing, 2013. (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers).

ZVEI, **About us**. Disponível em: <<https://www.zvei.org/en/association/about-us/>>. Acesso em 12 de junho de 2017.